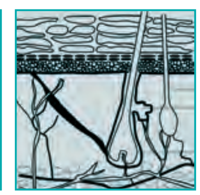
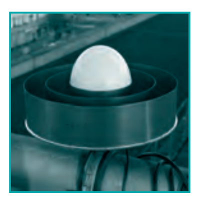


Nachhaltige Forschung in Wachstumsbereichen Band II




Ergebnisse des Projektes Forschungsassistenz
an der Beuth Hochschule für Technik Berlin

2010/2011

λογος

Impressum

Nachhaltige Forschung in Wachstumsbereichen
Band II

Herausgegeben von
Prof. Dr. Gudrun Görlitz

Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
www.beuth-hochschule.de

Redaktionelle Bearbeitung
Nina Gräbner

Satz, Layout und Titelgestaltung
Markus Weiß | www.typogo.de

Druck

Gubener Straße 47, 10243 Berlin







Nachhaltige Forschung in Wachstumsbereichen Band II

Ergebnisse des Projektes Forschungsassistenz
an der Beuth Hochschule für Technik Berlin

Forschungsassistenz hat Hand und Fuß

Über Wasser zu laufen ist unseren Forschungsassistentinnen und -assistenten zwar nicht gelungen, aber ein Teilprojekt befähigt Fahrräder mit ausgeklügelter Technik, Menschen trockenen Fußes über Flüsse und Seen zu transportieren. Die genaue Funktionsweise des Mountainwaterbike-Kits ist im vorliegenden 2. Band *Nachhaltige Forschung in Wachstumsbereichen* erläutert. Außerdem präsentieren acht weitere junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihre Ergebnisse aus 18-monatigen Forschungstätigkeiten an der Beuth Hochschule in Kooperation mit kleinen und mittleren Unternehmen. KMUs sind auch der direkte Forschungsgegenstand eines Teilprojektes, das sich mit der Erarbeitung eines Beratungsmoduls zum Thema „Fortschrittliche Prozesse und Systeme im Einkauf für KMUs" befasst. Im Rahmen des Projektes „Biosensorik für eine Kunsthand" wurden Lösungen erarbeitet, den Greifprozess mit einem mechanischen Handmodell nachzubilden. Der verbesserten Kunsthand ist zum Beispiel möglich, anderen Menschen die Hand zu schütteln. Davon konnten sich bei der Langen Nacht der Wissenschaften auch zahlreiche Besucherinnen und Besucher überzeugen.

Für Hochschulabsolventinnen und -absolventen, denen es aufgrund mangelnder Praxiserfahrung noch nicht gelungen ist, sich fest im regionalen Arbeitsmarkt zu etablieren, bietet das Projekt Forschungsassistenz die Möglichkeit zur Qualifikation. Regionale Unternehmen erhalten gleichzeitig die Chance, innovative F&E-Projekte gemeinsam mit der Beuth Hochschule zu realisieren. Jede Forschungsassistentin und jeder Forschungsassistent absolviert während seiner Arbeit an der Beuth Hochschule mindestens ein Praktikum in einem Unternehmen. Davon profitieren alle Seiten und sichern eine passgenaue Qualifikation für eine erfolgreiche Übernahme der Forschungsassistentin, des Forschungsassistenten. Bei einem Kick-Off-Gespräch werden Arbeitspakete abgestimmt sowie die Anzahl und Dauer der Praktikumsphasen festgelegt. Nutzungsmöglichkeiten der über 80 modern ausgestatteten Labore der Beuth Hochschule für Technik führen zu wissenschaftlich und experimentell fundierten Projektergebnissen.

Die sechste Förderrunde zur Forschungsassistenz ist in vollem Gange. Einige Forschungsassistentinnen und -assistenten sind nun seit fast einem Jahr dabei und wir können auf deren Ergebnisse im folgenden Band gespannt sein. Der nächste Aufruf sowie Ausschreibungen für 14 neue Teilprojekte erfolgt im März 2012.

Die gestaffelte Einstellung und die damit verbundenen versetzten Laufzeiten der Forschungsprojekte haben sich als sehr vorteilhaft erwiesen, da jüngere von erfahreneren Forschungsassistentinnen und -assistenten lernen können.
Ihnen allen und natürlich auch den betreuenden Professorinnen und Professoren sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Kooperationspartner sei an dieser Stelle für ihr Engagement gedankt. Ein besonderer Dank geht wiederum an die Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Frauen für die zuverlässige Unterstützung und gute Zusammenarbeit. Das Projekt Forschungsassistenz wird bis 2013 von der Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Frauen und dem Europäischen Sozialfonds gefördert. Die Beuth Hochschule erweist sich damit als leistungsstarker Partner der Wirtschaft und ermöglicht zahlreiche neue nachhaltige Kooperationsprojekte.



Prof. Dr. Gudrun Görlitz
Projektleiterin

Inhaltsverzeichnis

Innovative Einkaufsprozesse für KMUs

Dipl.-Ing. Ekaterina Kobeleva, M. Eng.; Prof. Dr. Klaus Helbig
Kooperationspartner: InMediasP Gesellschaft für innovative Produktentwicklung und Informationstechnik mbH

Mittelständische Unternehmen unterschätzen häufig den Einkauf als Erfolgsfaktor. Viele Unternehmen betrachten den Vertrieb als vorwiegende Quelle von Wettbewerbsvorteilen. Der Gedanke „Je mehr ich zum hohen Preis verkaufe – desto höher wird mein Gewinn sein!“ ist bei KMUs üblich, aber nicht ganz korrekt. Anders klingt ein Leitsatz der Großindustrie: „Je niedriger meine Anschaffungs- und Herstellkosten bei gleichbleibend guter Qualität sind – desto wettbewerbsfähiger werden meine Produkte!“. Niedrige Anschaffungskosten entstehen zu einem Teil durch niedrige Einkaufspreise, den anderen Teil können schlanke Einkaufsprozesse ausmachen. In diesem Artikel werden die Ergebnisse einer empirischen Studie über die Ausgestaltung von Einkaufsprozessen bei großen bzw. kleinen und mittleren Unternehmen vorgestellt. Darauf aufbauend soll in weiteren Forschungsarbeiten ein Beratungsmodul für die Optimierung von Einkaufsprozessen bei kleineren und mittleren Unternehmen erarbeitet werden.

Frequently the purchasing as a factor of success is underestimated in the middle-class companies. Many companies examine the sales topic as a prevalent source of the competitive advantage. The common idea in the SME[1] “The more and expensive I do sales - the higher will be my benefit!” will be changed in the course of time to the large-business´s vision:”The lower my purchasing and production costs are at the same high quality – the more competitive my products will be!” The low purchasing costs are made up only partial of the low purchase price. Other part is made up of lean purchasing processes. The current purchasing processes in large-business and small-middle-enterprises will be presented through the survey results in this article. Based on it a consulting module to optimize the purchasing processes in SME is to be worked out.

Einleitung

In Zeiten der Globalisierung entstehen durch Innovation neue Geschäftsprozesse, deren Umsetzung von den Unternehmen Ressourcen in Form von Geld, Personal und Zeit erfordern. Da über die notwendigen Ressourcen meist nur Großunternehmen verfügen, haben diese in den letzten Jahren ihre Prozesse und Systeme der Beschaffung optimieren können. Daraus sind neue Standardprozesse des modernen Einkaufs entstanden. Durch diese neuen Prozesse lassen sich erhebliche Savings (Einsparungen) im Einkauf in Form von Senkung der Prozesskosten, Verringerung der Lagervorräte, Optimierung der Bestellmenge, Senkung der Einkaufspreise u.v.m. erzielen.

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind dabei aufgrund des Ressourcenmangels vielfach auf traditionelle Arbeitsweise angewiesen. Des Weiteren sind die Einkaufsvolumen in KMUs meist zu gering, um die Wichtigkeit der Prozessoptimierung nachzuvollziehen bzw. um sich mit der Optimierung zu beschäftigen. 99.6% aller deutschen Unternehmen gehörten im Jahr 2010 zu KMUs [IfM11]. Das bestätigt die Aussage, dass „der Mittelstand den Kern deutscher Wirtschaft“ [EGe06] darstellt, und hebt die Relevanz dieses Themas hervor.

Begriffsabgrenzung

Es gibt zwei gängige Definitionen der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Nach Definition der Europäischen Kommission zählen zu KMU Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten und 50 Millionen Euro Jahresumsatz, dabei wird zwischen den kleinsten bis 10 Beschäftigten, kleinen 10 – 49 und mittleren 50 – 250 Unternehmen unterschieden [SBD11]. Das Institut für Mittelstandsforschung Bonn gibt die zweite Definition vor und bezeichnet KMUs als unabhängige Unternehmen mit weniger als 500 Beschäftigten und einem Jahresumsatz von höchstens 50 Millionen Euro [IfM11]. Da die Einkaufsprozesse in einem zu KMU zählenden Unternehmen nach Definition der EU und des IfM sich nur zu geringem Teil unterscheiden, wird die EU-Definition für die Forschungszwecke auf die Definition des IfM erweitert und KMU wie folgt definiert: Die Gesamtheit der KMU setzt sich aus den unabhängigen Unternehmen mit weniger als 500 Beschäftigten respektive 50 Millionen Euro Jahresumsatz zusammen und wird ebenso unter dem Begriff Mittelstand verstanden (Tabelle 1).

[1] SME = Small-middle Enterprise

Unternehmensgröße	Zahl der Beschäftigten	Jahresumsatz
Kleinste	0 – 9	< 2 Mio. Euro
Kleine	10 – 49	< 10 Mio. Euro
Mittlere	50 – 499	< 50 Mio. Euro

Tabelle 1: KMU-Definition

Der **Einkauf** in einem Unternehmen umfasst die operativen Tätigkeiten zur Versorgung interner Kunden in der Fertigung, Entwicklung und Verwaltung mit Produktionsmaterial, Anlagegütern und Dienstleistungen, die von diesem Unternehmen nicht selbst hergestellt werden. [Mel08]

Der **Einkaufsprozess** als ein (betriebswirtschaftlicher) Geschäftsprozess stellt eine zielgerechte und logische Reihenfolge von Aufgaben dar, die von mehreren Organisationseinheiten mit Unterstützung von ITK-Technologien ausgeführt werden können [Gad10]. Einen grafischen Überblick über die Prozesse und organisatorische Abläufe, die in einem Unternehmen auftreten bzw. auftreten können, gibt eine **Prozesslandkarte.** Dabei werden die Geschäftsprozesse in der Regel in Abhängigkeit von der Nähe zum Kerngeschäft des Unternehmens differenziert und in Steuerungs-, Kerngeschäfts- und Unterstützungsprozesse unterteilt [Gad10].

Einkaufsprozesse allgemein: theoretische Befunde

Ursprünglich waren mit dem Begriff Einkauf nur die operativen Aufgaben der Materialwirtschaft (die Einkaufsdurchführung) gemeint. Unter Hauptprozessen verstehen sich Beschaffungsanbahnung, Vertragsabschluss und Vertragsrealisierung. Die Prozesskette ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Operative Einkaufsaufgaben

Der operative Einkaufsprozess fängt mit dem Hauptprozess Beschaffungsanbahnung und der Bedarfsmeldung an. Dabei wird der Materialbedarf an den für den Einkauf zuständigen Mitarbeiter gemeldet, der die Angaben nach dem Erhalt der Bedarfsmeldung auf Richtigkeit und Vollständigkeit prüft und freigibt. Nach der Freigabe wir der Bedarf bei Lieferanten angefragt, mit dem Vorschlag, dazu ein Angebot abzugeben. Die eingeholten Angebote werden sachlich geprüft und verglichen, daraus wird eine Liste der potenziellen Lieferanten erstellt. An diesem Punkt endet der Anbahnungsprozess und beginnt der Prozess des Vertragsabschlusses.

Der Prozess Vertragsabschluss besteht aus drei Schritten. Zuerst wird mit den potenziellen Lieferanten verhandelt, um einen oder mehrere Lieferanten zu selektieren, die in der Lage sind, die Ware oder die Dienstleistung in bester Qualität zum besten Preis zu liefern. Im nächsten Schritt erfolgt die Bestellung bei den Lieferanten. Dieser Schritt entspricht dem eigentlichen Vertragsabschluss. Abschließend sendet der Lieferant ggf. eine Auftragsbestätigung zur Bestellung. Der Kaufvertrag ist spätestens damit abgeschlossen. Danach ist nur die Bestellüberwachung bis zur Lieferung bzw. Abnahme notwendig. Im Anschluss müssen die Rechnungen geprüft und beglichen werden. [vgl. Här99]

Der Einkauf beschränkt sich nicht auf die operativen Tätigkeiten. Der Einkaufsprozess wird im Einklang mit der Unternehmensstrategie strategisch geplant, der Bedarf an Materialien und Dienstleistungen wird analysiert und je nach Möglichkeit gebündelt, Lieferantendatenbanken samt Lieferantenbewertungen werden gepflegt, die Be-

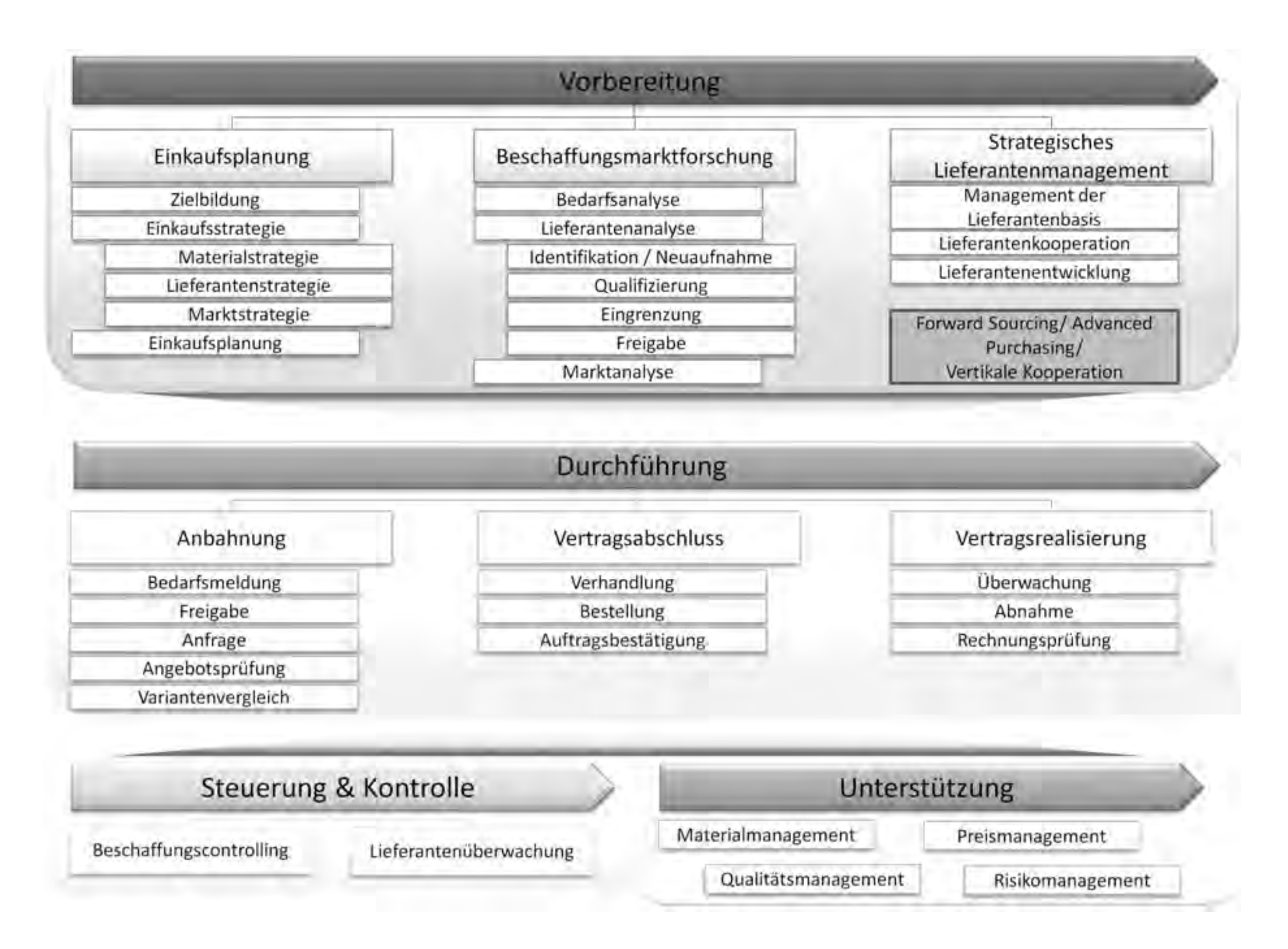


Abbildung 2: Prozessübersicht im Einkauf

schaffungsmarktsituation wird beobachtet. Es wird mit den Lieferanten, wie mit anderen strategischen Partnern, möglichst eng zusammen gearbeitet. Darüber hinaus dürfen die Aufgaben des Qualitäts- und Risikomanagements, des Material- und Preismanagements sowie kontrollierende und steuernde Aufgaben des Beschaffungscontrollings und der Lieferantenbeobachtung nicht außer Acht gelassen werden.

Diese Vielfalt an Prozessen, die im Einkauf auftreten, lässt sich in vier großen Gruppen zusammenfassen: In der Gruppe Vorbereitung werden die strategischen Aufgaben zusammengefasst, in der Durchführung – operative Tätigkeiten unmittelbarer Bestellungsdurchführung, in den Gruppen Steuerung & Kontrolle und Unterstützung sind dann die entsprechenden Aufgaben zusammengefasst (Abbildung 2).

Einkaufsprozesse im Mittelstand: empirische Informationsgewinnung durch Online-Befragung

Durch Literaturauswertung und Fachgespräche entstand die These, dass sich der deutsche Mittelstand seit jeher in erster Linie auf sein operatives Geschäft konzentriert. Dasselbe gilt auch für deren Einkauf. Die KMUs legen im Einkauf ihren Fokus auf die operativen Aufgaben. Das liegt zum einen am geringen Einkaufsvolumen und zum anderen an fehlenden Ressourcen wie Personal, Geld und Zeit.

Um diese Aussage zu überprüfen, wurden Fragebögen zur Online-Befragung der Einkäufer entwickelt. Ziel der Befragung war es, die Einkaufsprozesse in mittelständischen und großen Betrieben aufzunehmen, um später durch den Ergebnisvergleich die Unterschiede und die Tendenzen feststellen zu können.

Die Befragung lief über fünf Wochen im Zeitraum vom 06.06.2011 bis 10.07.2011. Die Zielgruppe wurde sowohl direkt auf Fachveranstaltungen angesprochen, als auch über Fachbeiträge in Fachzeitschriften und in sozialen Netzwerken wie z. B. Xing zur Teilnahme eingeladen. An der Befragung nahmen 27 Einkäufer teil, wobei 13 aus Großunternehmen und 14 aus mittelständischen Betrieben stammen. Dabei kommen die Einkäufer mit 60 % größtenteils aus den Branchen Maschinenbau (45%) und Elektroindustrie (15 %), mehr als ein Viertel aller Befrag-

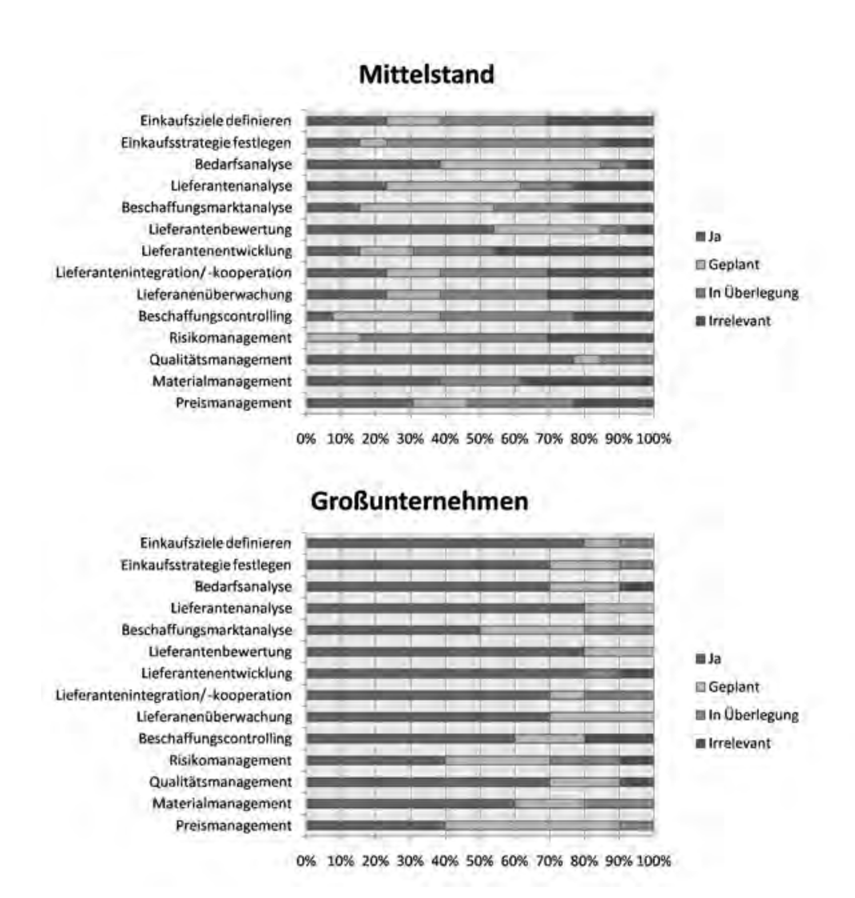


Abbildung 3: Strategische und unterstützende Einkaufsprozesse in Großbetrieben und im Mittelstand

ten machen Teilnehmer aus den Branchen Biotechnologie/Medizintechnik, Energie Rohstoffe/Wasserversorgung und IT/Telekommunikation sowie Dienstleistungsunternehmen mit jeweils 7 % aus. Die Branchen Automobilindustrie, Chemie/Pharmaindustrie und Konsumgüterhersteller sind mit jeweils 4 % vertreten. Die geografische Verteilung zeigt, dass mehr als die Hälfte aller Teilnehmer aus Betrieben mit Sitz in Nordrhein-Westfalen (21 %), Baden-Württemberg (17 %) und Bayern (14 %) kommen. Ca. ein Drittel sind Betriebe aus Hessen (10 %), Niedersachsen (8 %), Hamburg (6 %) und Sachsen (6 %). Mit jeweils 2 % nahmen Einkäufer aus Rheinland-Pfalz, Sachsen und Schleswig-Holstein teil. Berliner und Brandenburger Unternehmen sind zusammen mit 12 % vertreten.

Die Ergebnisse der Umfrage machen deutlich, dass sich der Einkauf im Mittelstand wesentlich von den Strukturen in Großbetrieben unterscheidet. Zum Beispiel gaben 71% der befragten Mittelständler an, dass es in ihrem Unternehmen keine Einkaufsabteilung gibt, es wird meistens durch einen Dienstleister oder von dem Vorstand eingekauft. Alle befragten Großunternehmen hingegen verfügen über eigene Einkaufsabteilungen.

Auch die Frage nach den Prozessen im Einkauf zeigt deutliche Unterschiede. Es wurde nach dem Stand der strategischen und unterstützenden Einkaufsprozesse in den teilnehmenden Unternehmen gefragt. Für 14 ausgewählte Einkaufsprozesse gab es hinsichtlich deren Durchführung die Antwortmöglichkeiten „Ja", „Geplant", „In Überlegung" und „Irrelevant" zur Auswahl. Die Ergebnisse sind als ein Balkendiagramm in der Abbildung 3 getrennt für große und mittelständische Unternehmen aufgeführt. Die Verteilung zeigt, dass die Einführung dieser Einkaufsprozesse im Mittelstand gerade erst anfängt. Die Durchschnittswerte aller Antworten mit „Ja" beim Mittelstand liegen bei 27 % und damit unter der Hälfte der Mittelwerte der Großunternehmen (66 %).

Eindeutige Differenz ergibt auch die Durchschnittssumme der bereits eingeführten und geplanten Prozesse im Einkauf. Die großen Unternehmen liegen bei 87 %, und der Mittelstand erreicht nur den Wert von 48 %. Zudem wurden alle Prozesse mit Ausnahme des Qualitätsmanagement bei mittelständischen Unternehmen zu 24 % als „Irrelevant" eingestuft. Die Großindustrie hingegen schätzt lediglich 5 der 14 aufgelisteten Einkaufsprozesse durch nur 4 % der befragten Unternehmen als unwichtig ein.

Bei operativen Tätigkeiten wurde nach deren Ablauf in den Unternehmen gefragt. Die Abwicklung der aufgelisteten operativen Einkaufsprozesse kann mit den Antworten „per Telefon“, „auf Papier“, „per Fax/ Email“ und „im EDV-System“ oder einer Kombination angegeben werden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass große Unternehmen in der Abwicklung des operativen Einkaufs über bessere technische Unterstützung verfügen als kleine und mittlere Betriebe. Ein EDV-System als modernes Arbeitsmittel nutzen 31 % der KMUs im Vergleich zu 51 % bei großen Unternehmen.

Die weiterführende Frage zu eProcurement[2] stellt eine Auflistung mit gängigen EDV-Systemen und Tools im Einkauf dar. Als Antwortmöglichkeiten wurden wiederum „Ja“, „Geplant“, „In Überlegung“ und „Irrelevant“ angeboten. Die Betrachtung des Einsatzes von zwei gängigen Einkaufssystemen ERP[3] und SRM[4] weist Unterschiede auf, da lediglich 62 % der Mittelständler im Gegensatz zu einem 100-prozentigem Einsatz bei Großindustrie ein ERP-System benutzen. Bei einem SRM-System steht die Verteilung 15 % zu 40 %. Trotzdem stuften 30 % der Befragten aus Großbetrieben die Einführung von einem SRM-System als „Irrelevant“ ein.

Auf die letzten Fragen nach dem Optimierungsbedarf im Einkaufsprozess antworteten beide Zielgruppen, die großen und mittelständischen im Verhältnis 73 % zu 83 %, mit „Ja“ auf die Frage, ob der Einkauf in Ihrem Unternehmen Verbesserungspotenzial aufweist. Die Frage nach Hindernissen im Optimierungsprozess wurde von allen Teilnehmern mit „Personal- und „Budgetmangel“, „Kommunikationsprobleme“ und „keine Unterstützung seitens höherer Managementebene“ beantwortet. Dabei ist der Anteil der Mittelständler bei den Antworten Personal- und Budgetmangel sowie Kommunikationsprobleme etwa um die Hälfte höher.

Zum Schluss hatten die Teilnehmer die Möglichkeit, sich über die Verbesserungswünsche im Einkauf zu äußern. Bei den mittelständischen Unternehmen sind dabei die Optimierungen im Einkauf auf der Ebene der Einkaufsorganisation und der Position des Einkaufs im Unternehmen, auf der Material- und Lieferantenebene, sowie eine strategische Einkaufsausrichtung gewünscht. Die Einkäufer aus der Großindustrie wünschen sich größtenteils bessere EDV-Unterstützung des Einkaufs sowie Prozessoptimierung.

Einkaufsprozesse im Mittelstand: Prozessübersicht

Basierend auf den Ergebnissen der empirischen Untersuchungen lässt sich die Prozessübersicht an die augenblickliche Situation in KMUs anpassen. Dabei bleiben die operativen Prozesse unverändert, die strategischen und unterstützenden Aufgaben werden angesichts der Teilnehmerzahl unter der Bedingung, dass der addierte Anteil Antworten „Ja“ und „Geplant“ weniger als 50 %[5] ist, gestrichen.

Die weggelassenen strategischen Einkaufsprozesse sind Zielbildung und Strategieformulierung (Einkaufsplanung), Lieferantenentwicklung und Lieferantenintegration/ -kooperation (Strategisches Lieferantenmanagement). Die Prozesse der Steuerung und Kontrolle müssen ganz weggenommen werden, von unterstützenden Prozessen bleibt nur das Qualitätsmanagement übrig. Die auf die KMUs angepasste Prozessübersicht ist in der Abbildung 4 Einkaufsprozesse in KMU aufgeführt.

Einkaufsprozesse im Mittelstand: Beratungsmodul

Ziel des Beratungsmoduls ist es, die KMUs auf dem Weg von der IST-Situation (Abbildung 4) bis hin zur SOLL-Situation (Abbildung 2) beratend zu begleiten. Das dafür benötigte Wissen wurde im Forschungsprojekt gewonnen. Zukünftig soll das Know-how in einem konkreten Fall auf die Unternehmenssituation übertragen werden. Die Zielgruppe des Beratungsmoduls könnte aus mittelständischen Unternehmen mit höherem Einkaufsvolumen und einer Einkaufsabteilung bestehen.

Der Beratungsprozessablauf wird folgendermaßen ablaufen:

1. Aufklärung der Ziele: was wollen wir mit der Optimierung erreichen?
2. Entwurf einer Lösung: wie erreichen wir das Ziel am schnellsten mit minimalem Aufwand?
3. Verfeinerung der Lösung: wie beeinflussen sich gegenseitig welche Prozesse und Systeme in diesem Unternehmen?
4. Begleitung der Lösungsimplementierung: was muss für die Einführung neuer Prozesse und Systeme beachtet und organisiert werden, und wann?
5. Controlling: wurden die definierten Ziele erreicht?

[2] Elektronische Beschaffung
[3] Enterprise Resource Planning unterstützt den operativen Einkauf von z.B. Produktionsmaterial
[4] Supplier Relationship Management unterstütz den strategischen und operativen Einkauf auch von Nicht-Produktionsmaterial
[5] Die Zahl 50% wird pauschal genommen. Einerseits wurde die Hälfte der befragten Einkäufer aus KMU als aussagekräftig eingestuft, andererseits liegt 50% immer noch unter 66 % der Teilnehmer aus Großindustrie, die diese Prozesse bereits eingeführt haben.

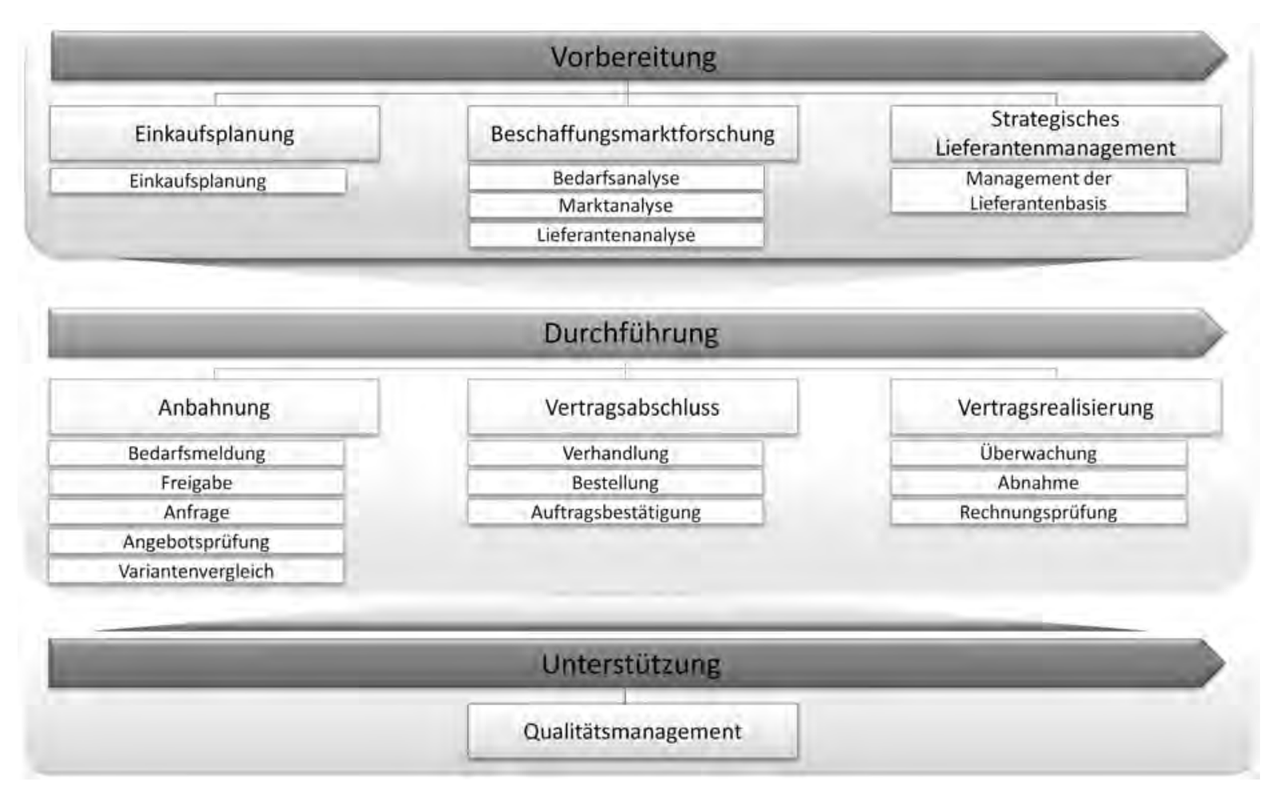


Abbildung 4 Einkaufsprozesse in KMU

Mithilfe von Ergebnissen eines Beratungsprojektes wird das Know-how weiterhin ausgefeilt, um daraus eine praxisorientierte Lösung für KMU zu entwickeln.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Forschungsprojekt wurde festgestellt, dass kleine und mittelständische Unternehmen eher aufgaben- als prozessorientiert arbeiten. Um die Einkaufsaufgaben in die Einkaufsprozesse umzuwandeln fehlt es dem Mittelstand bisher an Ressourcen. Darüber hinaus fehlt im deutschen Mittelstand das Verständnis für den Einkauf als Erfolgsfaktor, was unterstreicht, dass die KMUs die Einkaufsproblematik noch nicht verinnerlicht haben und darüber informiert werden müssen.

In Zusammenarbeit mit dem Kooperationsbetrieb wird weiterhin in diese Richtung geforscht, mit dem Ziel kleinen und mittelständischen Unternehmen eine kosten- und personalschonende Lösung anzubieten.

Literatur

[EGe06] Europäische Gemeinschaften. Die neue KMU-Definition. 2006. Abgerufen am 04.07.2011 von Benutzerhandbuch und Mustererklärung: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sme/files/sme_definition/sme_user_guide_de.pdf

[Gad10] Gadatsch, A. Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis (6. Auflage). Wiesbaden, 2006.

[Här99] Härdler, J. Material-Management: Grundlagen - Instrumentarien - Teilfunktionen. München ; Wien, 1999.

[IfM11] Institut für Mittelstandsforschung Bonn. Kennzahlen zum Mittelstand 2008/2010 in Deutschland. Abgerufen am 27.06.2011 von http://www.ifm-bonn.org/index.php?utid=99&id=101

[Mel08] Melzer-Ridinger, R. Materialwirtschaft und Einkauf. Beschaffungsmanagement. (5. Auflage). München, 2008.

[SBD11] Statistisches Bundesamt Deutschland. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) . Abgerufen am 27.06.2011 von http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/UnternehmenGewerbeInsolvenzen/KMUMittelstand/KMU__Begriff.psml

Kontakt

Prof. Dr. rer. oec. Klaus Helbig
Beuth Hochschule für Technik Berlin
FB I Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 2821
E-Mail: klaus.helbig@beuth-hochschule.de

Kooperationspartner

InMediasP GmbH
Neuendorfstraße 18a
16761 Hennigsdorf
Tel: (0 33 02) 559 - 420
Web: www.inmediasp.de



Entwicklung Transdermaler Drug Delivery Systeme

M. Sc. Dipl.-Ing. (FH) Hilal Bilek; Prof. Dr. rer. nat. Mont Kumpugdee Vollrath
Kooperationspartner: SCHÖNING Pharmazeutische Präparate GmbH & Co. KG Berlin, Dr. Ernst-Josef Strätling und Dipl.-Chem. Peter Scholtyssek

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung neuer Emulsions-Formulierungen auf Basis von Proteinen als Stabilisatoren. Die Langzeitstabilität sowie die Tröpfchengröße von Emulsionen variieren je nach eingesetztem Wirkstoff. Um die pharmakologische Wirkung dieser Systeme *in vitro* zu überprüfen, ist eine Modellmembran notwendig. Daher wurden verschiedene Tierhäute untersucht, um Alternativmodellmembrane zu finden. Die SAXS-Ergebnisse zeigen, dass die Häute unterschiedliche Streumuster aufweisen.

This work focuses on the development of the new emulsion formula based on protein as stabilizer. The results show that the stability and the drop sizes of the emulsions varied depending on the drug used. In order to determine the pharmacological effect of these drug delivery systems by *in vitro* test, the model membrane is necessary. Therefore different skins were studied in order to have alternative model membrane and the SAXS-results show that the skins have different scattering patterns.

1. Einleitung

Emulsionen sind disperse Formulierungen, die aus mindestens zwei nicht miteinander mischbaren Phasen bestehen. Die Stabilität dieser Systeme wird durch Tenside, sogenannte Emulgatoren, gewährleistet. Seit langem besteht in der Pharmazie das Interesse an Emulsionen. Dies zeigt die zunehmende Anzahl von Publikationen, welche die Wirksamkeit von Emulsionen als potente *Drug Delivery* Systeme belegen. In der Literatur werden Emulsionen als *Drug Delivery* Systeme mit neuartigen Eigenschaften beschrieben [Pra 90]. Weiterhin wird berichtet, dass Emulsionen die Löslichkeit und die Stabilität von Arzneimitteln mit schlechter Wasserlöslichkeit erhöhen [Col 90] [Kur 96].

Ziel der Emulsionen für die Anwendung an der Haut ist einerseits, die kutane Penetration von Problemarzneistoffen in der dermalen Therapie zu verbessern, und andererseits, Arzneistoffe auf *transdermalem* Wege durch Umgehen des *First-Pass-Effektes* der systemischen Zirkulation zuzuführen. Jedoch ist die Zulassung solcher neuen kommerziellen Präparate nur in geringem Maße möglich. Ein Problem stellen dabei die Toxizität einzelner Komponenten und der hohe Tensidgehalt der Systeme dar, die einer breiten Anwendung entgegenstehen. Emulgatoren schädigen die Hornschicht und führen zur Exsikkation und Barriereschädigung der Haut. Dieser Effekt kommt durch eine Permeabilitätssteigerung der Barrierelipide und durch eine direkte Schädigung der Keratinozyten und Korneozyten zustande [Glo 03]. Es gibt Entwicklungen „nichttoxischer" Emulsionen für den pharmazeutischen Einsatz mittels Chitosan als Emulgator. Chitosan ist ein Abbauprodukt des in Krebsschalen und Insektenpanzern vorkommenden Chitins. Die mikrobiellen Untersuchungen zeigten, dass 0,5 % Chitosan als antimikrobielles Konservierungsmittel in Emulsions-Formulierungen für die Schleimhäute sowie für parenterale Anwendungen eingesetzt werden kann [Jum 02].

2. Beschreibung des Forschungsgegenstandes

Da die Formulierung von *Drug Delivery* Systemen vielfältige Herausforderungen stellt, ist das Ziel unseres Projektes, die Entwicklung neuer Formulierungen für Emulsionen auf natürlicher Basis, d. h. unter Verwendung nicht toxischer Komponenten. Hierzu wurde Protein als Emulgator eingesetzt. Zur Überprüfung der gewünschten pharmakologischen Wirkung ist es notwendig, *in vitro* Tests durchzuführen. Hierzu können Modellmembrane eingesetzt werden. Daher ist ein weiterer Schwerpunkt unseres Projekts die Untersuchung verschiedener Tierhauttypen, z. B. Reptilienhäute, die sich als Ersatzmodellmembran für menschliche Haut gut eignen.

Da die Firma SCHÖNING Pharmazeutische Präparate GmbH & Co. KG Berlin ebenfalls Interesse an der Entwicklung neuer „alternativer" Wirkstoffformulierungen hat, ist es unser Ziel, zukünftig in enger Kooperation mit SCHÖNING die neu entwickelten Rezepturen sowie deren pharmakologische Wirkstofffreigabe zu untersuchen, in ein Scale-up Verfahren zu überführen, und durch pharmazeutische Fabrikation in den pharmazeutischen Markt einzuführen.

2.1 Aufbau der menschlichen Haut

Die Haut ist das größte menschliche Organ. Sie ist in drei Schichten (Abbildung 1) wie folgt aufgeteilt:

1. die Epidermis enthält u.a. die Hornschicht *(Stratum corneum)* und ist nur durch die Schweiß- und Talgdrüsen unterbrochen,
2. die Dermis besteht aus den Schweißdrüsen, Talgdrüse, Haarfolikel und Blutgefäße,
3. die Subkutis enthält das Fettgewebe und Blutgefäße.

Die Haut ist eine Schutzbarriere gegen das Eindringen von u.a. Mikroorganismen, Viren und toxischen Stoffen. Des Weiteren verhindert sie das Austreten von physiologisch lebenswichtigen Stoffen, wie z. B. Wasser. Aus diesen Gründen ist die Haut für viele Wirkstoffe relativ schwer durchlässig. Dabei bildet das *Stratum corneum* die eigentliche Barriere, weil der Durchtritt von Wirkstoff in die tieferen Hautschichten hier besonders langsam verläuft.

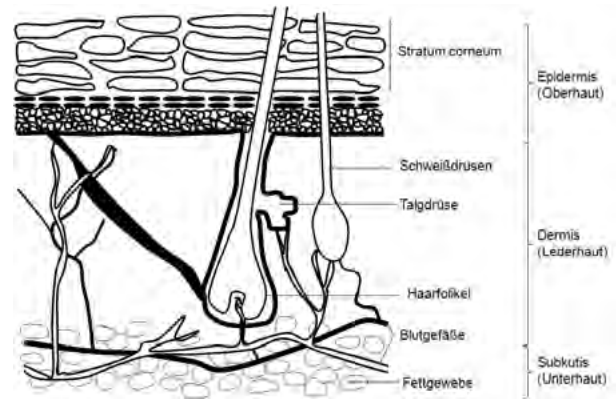


Abbildung 1: Aufbau der menschlichen Haut (modifiziert nach [Will 03], [Smi 05])

2.2 Modellmembranen

Die wichtigsten Aspekte für die Auswahl einer Modellmembran für *in vitro* Tests sind u.a. die Lagerfähigkeit und Ähnlichkeit mit der menschlichen Haut sowie der Kostenaufwand und die ethischen Richtlinien. Üblicherweise werden Schweine- und Rattenhaut als Modellmembrane bei *in vitro* Tests eingesetzt. Unsere Forschung jedoch befasste sich mit der Nutzbarkeit von Reptilienhäuten als Modellmembran. Ein Vorteil gegenüber anderen Tierhäuten ist, dass durch den natürlichen Prozess der regelmäßigen Häutung der Reptilien die Tiere nicht getötet werden müssen und damit eine Zustimmung der Ethikkommission nicht notwendig ist. Reptilenhäute können nach dem Abwerfprozess mehrere Monate gelagert und genutzt werden. Untersuchungen an Schlangenhäuten haben gezeigt, dass diese einen ähnlichen Wirkstoff-Permeationsprofil wie menschliche Haut besitzen. Ebenfalls sind der Lipidgehalt und die Hautdicke der Schlangenhaut dem der menschliche Haut sehr ähnlich (Tabelle 1).

3. Methoden und Ergebnisse

3.1 Emulsionen

Für die Herstellung der Emulsionen wurde ein Phosphatpuffer pH 8 als hydrophile Phase, Miglyol®812 als lipophile Phase und Sojaprotein als Stabilisator eingesetzt. Dieser Emulsion wurde Ibuprofen bzw. Lidocainhydrochlorid als Wirkstoff hinzugefügt. Ibuprofen ist ein nichtsteriodales Antirheumatikum, welches häufig zur Behandlung von Schmerzen, Entzündungen und Fieber eingesetzt wird. Es ist ein weißes Pulver mit einem Molekulargewicht von 206,27 g/mol; Summenformel $C_{14}H_{18}O_2$ und ist praktisch unlöslich in Wasser. Lidocain wird in der Human- und Veterinärmedizin als Lokalanästhetikum eingesetzt. Lidocainhydrochlorid, ein weißes kristallines Pulver, besitzt ein Molekulargewicht von 288,8 g/mol; Summenformel $C_{14}H_{23}ClN_2O \cdot H_2O$, und ist sehr leicht löslich in Wasser. Die hergestellten Emulsionen ohne Wirkstoff zeigten eine Stabilität von mindestens zwei Wochen (Tabelle 2). Nach Zugabe der Wirkstoffe verkürzte sich die Lagerstabilität.

Die mikroskopische Betrachtung der Emulsionen (Abbildung 2 A) zeigen, dass die Emulsionstropfen eine relativ gleichmäßige Verteilung sowie Homogenität besitzen. Das Laserlichtstreuungsgerät, mit dem ebenfalls die Partikelgrößen ermittelt wurden, basiert auf dem Prinzip der Lichtstreuung. Die Emulsionen werden mit einem Helium-

	Bestandteile	**Hauttype**	
		Schlangen	**Human**
Lipidgehalt (µg/mg)	Ceramide	45 ± 9	24 ± 4
	Cholesterol	35 ± 4	36 ± 4
	Phospholipid	21 ± 3	40 ± 5
	Gesamt-Lipid	126 ± 10	119 ± 12
Wassergehalt (µg/mg)		61 ± 7	128 ± 14
Dicke (µm)		17 ± 2	18 ± 3

Tabelle 1: Vergleich menschlicher und abgeworfener Schlangenhaut [Nga 06]

	Stabilität des Systems		
Emulsion	24 Stunden	Zwei Wochen	Vier Wochen
ohne Wirkstoff	stabil	stabil	Bildung von zwei Phasen
mit Ibuprofen	stabil	stabil	Bildung von zwei Phasen
mit Lidocain- hydrochlorid	stabil	Bildung von zwei Phasen	Bildung von zwei Phasen

Tabelle 2: Beobachtung der Langzeitstabilität von Emulsionen

Neon-Laser durchstrahlt. Aus dem sich ergebenden Streuungsmuster kann die Partikelgrößenverteilung (s. Abbildung 2 B) errechnet werden. Die Ergebnisse der Partikelgrößenbestimmung beziehen sich auf die Mittelwerte der durchgeführten Messungen mit den jeweiligen Abweichungen und resultieren aus mindestens Fünffachbestimmungen. Die Partikelgröße der Emulsionen mittels Lichtmikroskopie betrug < 3,0 + 0,6 µm, während die Größe durch Lichtstreuung bei ca. 2 µm lag. Nach Zugabe von Wirkstoffen waren die Verteilungen bimodal und es gab einige Tropfen mit größeren Durchmessern von ca. 100 µm. Diese Werte könnten sowohl aus größeren Emulsionstropfen als auch Luftblasen oder Agglomeraten resultieren. Die Ergebnisse zeigten deutlich den Einfluss von Wirkstoffen auf die Emulsionen.

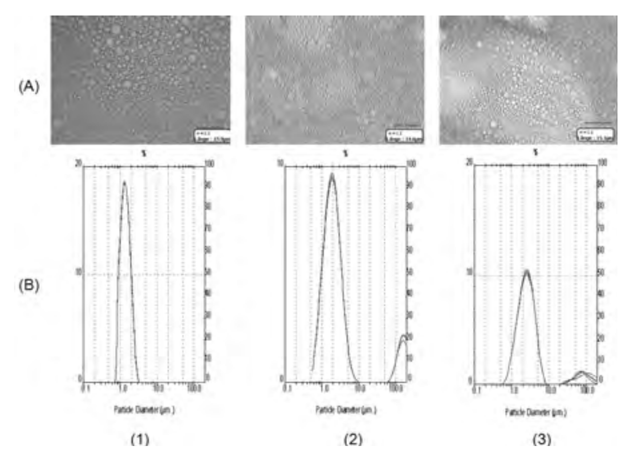


Abbildung 2: Untersuchung der Emulsion mittels (A) Lichtmikroskopie nach 15 min (Auflösung 40x) und (B) Laserlichtstreuung (1) ohne Wirkstoff ; (2) mit Ibuprofen; (3) mit Lidocainhydrochlorid.

Weiterhin wurden die Proben mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie charakterisiert. Mit dieser Methode kann die Struktur von Kristallen und deren atomarer Aufbau untersucht werden. Die Röntgenstrahlung wird an den Atomen, die im Kristallgitter regelmäßig angeordnet sind, gestreut. Diese Röntgenstreuung (oder Streuungsstrahlung) ergibt ein Interferenzmuster. Die Röntgenstreuung an einem Kristallgitter wird durch die Bragg-Gleichung (I) beschrieben.

$$n \lambda = 2 d \sin(\theta) \qquad \text{(I)}$$

Hierbei entspricht **n** einer natürlichen Zahl, die die Ordnung der Streuung angibt, **λ** ist die Wellenlänge der Röntgenstrahlung, **θ** ist der Streuungswinkel, **d** ist der Abstand zwischen den parallelen Gitterebenen, hier Lipidabstand und **q** ist Streuvektor. Die **q**-Werte sind abhängig von den **d**-Werten, wie in der Gleichung (II) dargestellt.

$$d = \frac{2\pi}{q} \qquad \text{(II)}$$

Mittels Software und des mathematischen Modells in Gleichung I und II können die Lipidabstände (**d**) aus q berechnet werden. Die Messungen aller Proben wurden an der Beamline BW4 am Hamburger Synchrotronstrahlungslabor (HASYLAB) installiert am DORIS III (Doppel-Ring-Speicher) Speicherring am Forschungszentrum Deutsches-Elektron-Synchrotron (DESY) in Hamburg durchgeführt. Die Streuung wurde mit einem MarCCD Detektor bei einer Wellenlänge von 0,138 nm aufgenommen.

Die Röntgenkleinwinkelstreuung mit streifendem Einfallswinkel (grazing incidence X-ray small angle scattering – GISAXS), ist eine Methode, die zwei Techniken

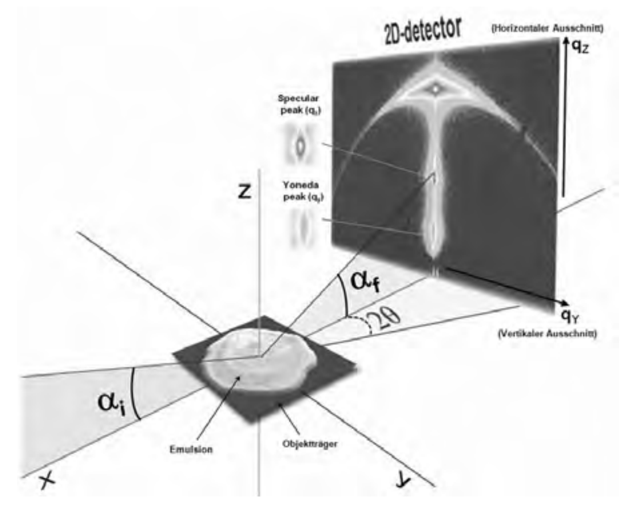


Abbildung 3: Der schematische Aufbau von GISAXS

vereint. Es handelt sich hier um die Kombination von GID (Grazing Incidence Diffraction, Röntgenstreuung mit streifendem Einfallswinkel) und SAXS (Röntgenkleinwinkelstreuung). Abbildung 3 zeigt die schematische Darstellung einer GISAXS Geometrie unter Verwendung eines zweidimensionalen Detektors.

Die Probe wird horizontal in der Mitte des Objektträgers befestigt. Die Probenfläche ist als x- und y- Achse definiert. Der Einfallsstrahl verläuft entlang der x-Achse mit einem Einfallswinkel (α_i). Die Streuung wird vom Detektor im Bereich von α_f und 2θ registriert. Es werden zwei Ausschnitte im Streuungsbild ausgewertet: (1) horizontaler Ausschnitt (in Bezug auf Probenoberfläche) bei konstanten q_z-Wert und (2) vertikaler Ausschnitt bei konstantem q_y-Wert. Der horizontale Ausschnitt liefert Informationen über die Probenbeschaffenheit parallel zur Substratoberfläche, wohingegen die vertikalen Ausschnitte die Probe senkrecht zum Substrat charakterisieren. Für die Messung, wurden die Emulsionen auf einen Objektträger aufgetragen und bis zu einem konstanten Gewicht im Trockenschrank (40 °C) getrocknet. Die Auswertung erfolgte mit der nicht kommerziellen Software FIT2D. Die Maxima der Peaks wurden mit Software Gnuplot bestimmt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Partikelgröße der Emulsion ohne Wirkstoff im Vergleich zu Emulsionen mit Wirkstoff kleiner war (Abbildung 4). Diese Ergebnisse stimmten mit denen aus der Mikroskopie und Lichtstreuung überein. Nur die Teilchengrößen hatten nicht die gleichen Werte. Grund dafür könnte die Beschränkung der Röntgentechnik sein, welche größere Teilchen nicht erfasst. Jedoch zeigt die Messung den Trend des Einflusses von Wirkstoffen auf die Emulsion.

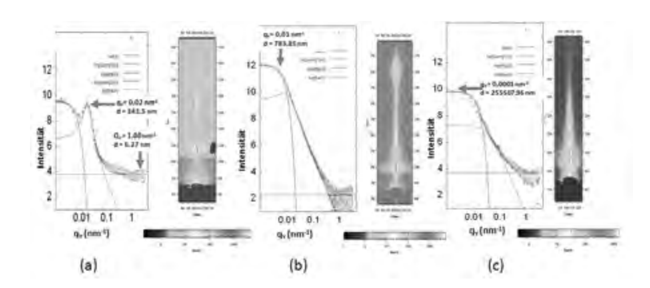


Abbildung 4: GISAXS Interferenzmuster (links) und Streuungsbilder (rechts) der Emulsionen
(a) ohne Wirkstoff, (b) mit Ibuprofen, (c) mit Lidocainhydrochlorid.

3.2 Modellmembranen

Die Modellmembranen wurden mittels Röntgenkleinwinkelstreuung (small angle X-ray scattering - SAXS, Abbildung 5) untersucht. Mit der Röntgenkleinwinkelstreuung können sehr kleine Streuungswinkel (0,1–5°) gemessen werden. Diese Methode ermöglicht die Charakterisierung sowohl von kristallinen Systemen als auch von den Wiederholungseinheiten (d) entweder mit einem typischen kristallographischen Abstand von einigen 100 nm oder von einigen Mikrometern. Die Messungen wurden an der Beamline BW4 am Hamburger Synchrotronstrahlungslabor (HASYLAB) installiert am DORIS III (Doppel-Ring-Speicher) Speicherring am Forschungszentrum Elektron-Synchrotron (DESY) in Hamburg durchgeführt. Die Streuung wurde mit einem MarCCD-Detektor bei einer Wellenlänge von 0,138 nm aufgenommen.

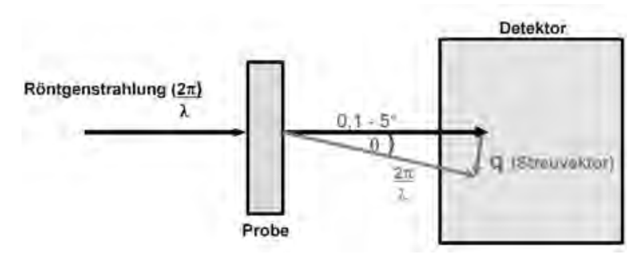


Abbildung 5: Der schematische Aufbau von SAXS (modifiziert nach [Hau 96])

Die SAXS-Ergebnisse der Reptilienhäute wurden mit denen der Schweinehaut und menschlicher Haut verglichen (Abbildung 6). Die Auswertung erfolgte mit der nicht kommerziellen Software FIT2D. Die Maxima der Peaks wurden mit Fit der Gaußfunktion mittels Software OriginPro ermittelt. Die SAXS-Streuungsmuster der Reptilienhäute (6 c, d) hatten zweit Maxima bei Streuvektor ($q1 = \sim 1{,}18 – 1{,}48\ nm^{-1}$, $q2 = \sim 2.65\ nm^{-1}$). Die Streuungsmuster der Reptilienhäute unterscheiden sich von denen der menschlichen Haut ($q1 = \sim 1\ nm^{-1}$, $q2 = 1{,}52\ nm^{-1}$ und $q3 = 1{,}84\ nm^{-1}$) und Schweinehaut in dem Bereich Bauch ($q1 = \sim 1{,}18\ nm^{-1}$, $q2 = 1{,}84\ nm^{-1}$) und Ohr ($q1 = 0{,}9\ nm^{-1}$,

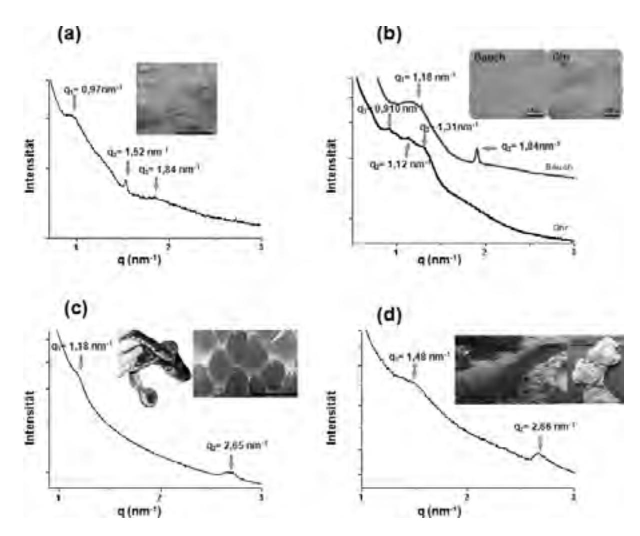


Abbildung 6: Streuungsmuster verschiedener Hauttypen;
(a) menschliche Haut, (b) Schweinehaut, (c) Armurnatter (Elaphe schrenkii), (d) Steppenwaran (Varanus exantheematicus).])

$q2 = \sim 1{,}1$ und $q3 = 1{,}31\ nm^{-1}$). Die Ergebnisse zeigten, dass alle Häute eine gordnete Struktur besaßen, aber unterschiedliche Streuungsmuster und Lipidabstände hatten. Jedoch in einigen Literaturen [Nga 06, Will 03, Smi 06] wurde berichtet, dass Schlangenhaut und Schweinehaut als Ersatzmembrane für *in vitro* Test eingesetzt werden können. Dieses bedeutet, dass die Ergebnisse (z.B. Permeationstest) nicht nur von innerer Struktur bzw. Lipidabständen abhängig ist, sondern von anderen Faktoren, was Anlass zu weiterer Forschung gibt.

4. Zusammenfassung und Ausblick

4.1 Emulsionen

Die hergestellten Emulsionen mit Sojaprotein als Stabilisator und verschiedenen Wirkstoffen zeigten eine Stabilität von mindesten zwei Wochen. Des Weiteren zeigten die Ergebnisse, dass eine Änderung des Wirkstoffes einen Einfluss auf die Langzeitstabilität hatte und entsprechend zu einer geänderten Struktur führte. Diese Beobachtung zeigte, dass der jeweilige Wirkstoff von Beginn an in die Formulierung der Emulsionen miteinbezogen werden muss. Dieses verhilft zu besseren Formulierungen von *Drug Delivery* Systemen. Weiterhin können diese Beobachtungen zu einem besseren Verständnis des Wirkmechanismus der verschiedenen Komponenten der dispersen Formulierung beitragen.

4.2 Modellmembranen

Um geeignete Modellmembrane für die Untersuchung der Wirkstofffreigabe durch *in vitro* Tests zu wählen, wurden unterschiedliche Hauttypen mittels Röntgenkleinwinkelstreuung (SAXS) untersucht.

Im Streuungsmuster der SAXS-Ergebnisse zeigten alle Tierhaut-Typen untereinander und im Vergleich mit der menschlichen Haut einen unterschiedlichen Aufbau der Membranstruktur. Die bisherigen Untersuchungen zeigten, dass Schlangenhaut aufgrund ihres Lipidabstandes als Modellmembran geeignet sein könnte. Für eine Bestätigung sind weitere Untersuchungen notwendig, denn für die Auswahl geeigneter Häute für *in vitro* Test ist ein noch besseres Verständnis der Eigenschaften der Häute erforderlich.

4.3 Ausblick

Die hieraus erhaltenen Ergebnisse wurden bereits auf Tagungen und Konferenzen vorgestellt und das Scale-Up der Herstellungsmethode ist mit dem Kooperationspartner in Vorbereitung. Die Möglichkeit der Vermarktung der Produkte (Emulsionen) bzw. Einsatz der Modellmembranen in der Wissenschaft für weitere Forschungsarbeit wird überprüft. Diese Themengebiete sind Gegenstand weiterer Projekte im Labor Pharmazeutische Technologie der Beuth Hochschule.

Literatur

[Col 90] Collins-Gold, L.C.; Lyons, R.T.; Bartholow, L.C.: Parenteral emulsions for drug delivery. Adv. Drug Deliv. Rev., 5: S. 189–208, 1990.

[Glo 03] Gloor, M.; Gehring, W.: Eigenwirkung von Emulsionen auf die Hornschichtbarriere und Hydration. Springer-Verlag, Hautarzt, 54: S. 324–330, 2004.

[Hau 96] Haubold, H.G.: Einführung in die Röntgenkleinwinkelstreuung, in Streumethoden zur Untersuchung kondensierter Materie (Zusammenstellung durch R. Hölzle). Forschungszentrum Jülich, C6.1, 1996.

[Kur 96] Kurihara, A.; Shibayama, Y.; Mizota, A.; Yasuno, A.; Hisaoka, M.: Enhanced tumor delivery and antitumor activity of palmitoyl rhizoxin using stable lipid emulsions in mice. Pharm. Res., 13: S. 305–310, 1996.

[Jum 02] Jumaa, M.; Furkert, F.H.; Müller, B.W.: A new lipid emulsion formulation with high antimicrobial efficacy using chitosan. Eur J Pharm Biopharm., 53: S. 115–123, 2002.

[Nga 06] Ngawhirunpat, T.; Panomsuk,S.; Opanasopit, P.; Rojanarata, T.: Comparison of the percutaneous absorption of hydrophilic and lipophilic compounds in shed snake skin and human skin. Pharmazie, 61: S. 331–335, 2006.

[Pra 90] Prankerd, R.J.; Stella, V.J.: The use of oil-in-water emulsions as a vehicle for parenteral drug administration. J. Parenter. Sci. Technol., 44: S. 139–149, 1990.

[Smi 06] Smith, E.W.; Maibach, H.I.: Percutaneous Penetration Enhancers. 2. Auflage Raylor & Francis Group. S. 4–5, 2006.

[Wil 03] Williams, A.C.: Transdermal and Topical Drug Delivery. 1. Auflage Pharmaceutical Press. S. 3, 2003.

Danksagung

Wir danken Dr. S. V. Roth, Dr. J. Perlich, S. Gramdorf, S. Beier, M. Dogangüzel, sowie L. Tong für die experimentelle Hilfe, der Deutschen Elektron-Synchrotron (DESY) in Hamburg für die Strahlzeiten an der Beamline BW4, sowie den Reptilienzoohandlungen „Reptilienpool“ und „Kreative Terraristik“ in Berlin für die kostenlosen Reptilienhäute.

Kontakt
Prof. Dr. Mont Kumpugdee Vollrath
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich II Studiengang Pharma- und Chemietechnik
Labor Chemische und Pharmazeutische Technologie
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 2239
E-Mail: vollrath@beuth-hochschule.de

Kooperationspartner
SCHÖNING Pharmazeutische Präparate GmbH & Co. KG
Berlin
Geschäftsführer: Dr. Ernst-Josef Strätling
Projektsbetreuer: Dipl.-Chem. Peter Scholtyssek
Porschestraße 22/24
12107 Berlin
Tel: (030) 700 776 - 0
E-Mail: info@schoeningberlin.de

Entwicklung eines flexiblen Kartiermoduls mittels FE und GIS

M. Sc. Nadja Lemcke; Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernd Meissner; Prof. Dr. rer. nat. Ursula Ripke
Kooperationspartner: Schüßler-Plan Consult GmbH und GIZ

Zur Verbesserung der Infrastruktur in Entwicklungsländern werden aktuelle Planungsgrundlagen benötigt, die aber meist nicht vorhanden sind. Das hier entwickelte flexible Kartiermodul kann diese Lücke schließen. Kern des Moduls ist das Zusammenführen aller verfügbaren Informationen von der veralterten amtlichen Karte bis zur aktuellen hochauflösenden Fernerkundungsaufnahme sowie allen verfügbaren Geländeinformationen. Von der Übersicht- bis zur Detailplanung wird die Verwendbarkeit des Kartiermoduls demonstriert.

To improve the infrastructure of developing countries up to date maps are needed. In many cases this data are not available caused by a lack of finance of the responsible authorities. This here developed flexible mapping module can close this gap. Therefore all available information have to be combined in a GIS database including old topographic maps, recent high resolution RS data and the visual interpretation as well as field information.

1. Einleitung

In vielen Ländern der Welt müssen wegen starken Bevölkerungswachstums und lang anhaltender kriegerischer Auseinandersetzungen die Entwicklungen der Infrastruktur in kurzer Zeit vorangetrieben werden. Die hierfür notwendige Planung benötigt aktuelle kartographische Produkte, die nur sehr selten zur Verfügung stehen. Aktuelle Planungsgrundlagen sind jedoch sowohl für die Infrastruktur-Planung von Großräumen (landesweit) als auch für die Detailplanung von Einzelmaßnahmen des Verkehrswegebaus unerlässlich. Auch in entlegenen Regionen lassen sich inzwischen Kartenunterlagen entwickeln (MEI02).

Mithilfe von möglichst aktuellen Fernerkundungsdaten und GIS-Technik sollte ein flexibles Kartiermodul entwikkelt werden, welches den lokalen Bedingungen angepasst ist und mit planungsrelevanten Daten ergänzt wird. Das Kartiermodul soll die Basis für die Ableitung stufenweise zu entwickelnder Kartenprodukte in unterschiedlichen Maßstäben sein, die speziell auf die Bedürfnisse der verschiedenen Planungsphasen angepasst sind.

2. Entwicklung des Forschungsprojektes

Das Forschungsvorhaben war hauptsächlich in Kooperation mit der Schüßler-Plan Consult GmbH geplant und konzentrierte sich von Anfang an auf die Schwerpunktländer Sudan, Äthiopien und Libyen. Weiterer Kooperationspartner ist die Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ – ehemals GTZ).

Da eine Arbeitsgruppe der Beuth Hochschule seit über 25 Jahren in Entwicklungsländern arbeitet, sind viele Probleme vertraut, die in diesen Ländern bei Beginn von Planungen zur Verbesserung der Infrastruktur auftreten. Schwerpunkt der Forschungen waren im Rahmen des SFB 69 (bis 1996) Ägypten und der Sudan und seit 1997 auch Äthiopien. Insbesondere durch gemeinsam betreute Dissertationen und Diplom- / Masterarbeiten entstanden Kooperationen zu Universitäten und Dienststellen, die geowissenschaftliche Daten erhoben bzw. topographische Karten herausgeben. Diese Kooperationen wuchsen über die Jahre und gestalteten sich immer enger. Hierbei entstand auch eine Stadtkarte von Khartoum (Sudan), die mit Hilfe der Deutschen Botschaft und EU-Vertretung auch verlegt werden konnte (BEL09).

Parallel zu diesen Aktivitäten erarbeitete die Firma Schüßler-Plan eine Machbarkeits-Studie für die Planung eines Straßenbahnnetzes von Khartoum. Die Anfrage, ob sie die Stadtkarte als Kartenbasis für ihre Studie verwenden dürften, wurde positiv beschieden und führte über den ersten Kontakt hinaus zu einem Datenaustausch. So konnten Planungsunterlagen von Schüßler-Plan Consult im Rahmen eines Studienprojektes von Studentengruppen genutzt werden.

So war es ganz natürlich, dass bei der Beantragung im Projekt Forschungsassistenz mühelos ein gemeinsames Ziel formuliert werden konnte.

Schwerpunkt der gemeinsamen Forschungsaktivitäten mit Schüßler-Plan sollte eine Pilotstudie zur Eisenbahnanbindung des Südsudan an die Häfen des Indischen Ozeans sein. Hierzu müssen nicht nur Entscheidungen über die Trassenführung via Transitländer wie Uganda, Kenia und Äthiopien fallen, sondern auch über den Standort des Bahnhofs in Juba, der Hauptstadt des Landes.

3. Stand des Projekts

Wegen der komplizierten politischen Rahmenbedingungen verzögerten sich Planungsabläufe, da es deutliche Unterschiede bei der Vorstellung von der Zentralregierung in Khartoum und der Regionalregierung in Juba gab. So wurde die Planung nur verdeckt vorangetrieben. Erst im November 2010 wurde in einer Pressemitteilung die Planung von einer Bahnanbindung des Südsudan an Uganda bekannt gegeben.

Da die geo3-Arbeitsgruppe auch in anderen Planungsprojekten in Ostafrika, wie z. B. Äthiopien tätig ist, wurden die hier entwickelten Methoden auch dort erfolgreich angewendet. Ein gutes Beispiel ist hierfür das GIZ-Projekt „Entwicklung einer Kartenübersicht zum Schutzgebietsmanagement für Äthiopien“.

4. Methodik

Bei derart umfangreichen Planungen wird prinzipiell von kleinen zu großen Maßstäben gearbeitet. Dies bedeutet eine Aufteilung und schrittweise Bearbeitung des Gesamtprojektes. Nur im seltensten Fall können einzelne Teilschritte vorgezogen oder parallel bearbeitet werden. Im Rahmen der Forschungen haben sich nachfolgende Maßstäbe als gute Bearbeitungsschritte für die verschiedenen Planungsphasen erwiesen. Nicht nur für die in diesem Rahmen bearbeiteten Projekte, auch bei der Betrachtung anderer infrastruktureller Planungsprojekte stellten sich diese Maßstabsbereiche als Favoriten heraus.

4.1 Erste Planungsphase – kleinmaßstäbige Übersicht

Die erste Planungsphase hat zumeist eine großräumige Übersicht der bestehenden Infrastruktur zum Ziel und soll eine Vorabbetrachtung der Einbindungsoptionen des „Planungsgegenstandes“ ermöglichen. Hierbei hat sich ein Maßstabsbereich zwischen 1 : 1.000 000 und 1 : 2.000 000 bewährt. Zur Erprobung des Kartiermoduls in einer Praxisphase wurde an dieser Stelle das Äthiopienprojekt „Schutzgebietsmanagement“ im Maßstab 1 : 2.000 000 ausgewählt. Dieses Projekt hat den Vorteil, dass Äthiopien dem Sudan recht ähnlich in der Landesgröße und der vorhandenen Infrastruktur ist.

Hauptaufgabe in dieser Phase ist generell zunächst das Zusammentragen vorhandener Datengrundlagen in einem einheitlichen Maßstab und Koordinatensystem. Da solche Datengrundlagen in vielen Entwicklungsländern leider noch immer nicht vollständig und selten homogen zur Verfügung stehen, bilden auch die Erfassung fehlender Daten beziehungsweise Ergänzung unvollständiger Datensätze einen wichtigen Bestandteil dieser Arbeitsphase.

Das flexible Kartiermodul legt hier besonderen Wert auf die Zusammenführung aller verfügbaren Unterlagen, wie topographische Karten und Fernerkundungs-Bilddaten, auf eine für den Nutzungszweck sinnvolle Kartenprojektion. Das Kartenmaterial wird mithilfe der Bildmaterialien unter Berücksichtigung des notwendigen Generalisierungsgrades aktualisiert bzw. fortgeführt. Eine thematische Interpretation ermöglicht einen schnellen ersten Eindruck der Verteilung der thematischen Einheiten und der Abhängigkeitsverflechtung. Hier wurden gute Ergebnisse bei der Kartierung des Sudd erreicht (LEM07).

Im Schutzgebietsmanagement-Projekt der GIZ war das Ziel die Schaffung einer landesweit einheitlichen Planungsgrundlage für das Management von landeseigenen und internationalen Schutzgebietszonen in Äthiopien. Von Interesse waren hier neben bestehender Infrastruktur auch administrative Belange (Grenzen und Zuständigkeiten) sowie geographische Gegebenheiten, beispielsweise das Relief, Landschaftstypen und Gewässer. Als Datengrundlagen kamen FE-Daten der Landsat-Satelliten mit ihren unterschiedlichen Sensoren (MSS, TM und ETM+) zum Einsatz. Viele Datensätze dieser Satelliten können unter www.landsat.org kostenfrei und orthorektifiziert heruntergeladen werden. Zusätzlich zu diesen FE-Daten wurden topographische Karten in den Maßstäben 1 : 250.000 und 1 : 500.000 in das Kartiermodul integriert. Eine visuelle Interpretation der so zusammengetragenen Grundlagen ermöglichte eine gute und homogene Erfassung von topographischen Basisinformationen, beispielsweise bestehende Infrastruktur, Gewässernetz und Landschaftstypen. Zudem wurden SRTM-Daten (SRTM - Shuttle Radar Topography Mission) benötigt um Relief- und Höheninformationen in die Planung einbeziehen zu können. Auch diese Daten sind in einer für diesen Maßstabsbereich ausreichenden Bodenauflösung unter http://srtm.csi.cgiar.org/ kostenfrei verfügbar. Die Kostenfrage spielt in den meisten Entwicklungsländern und speziell bei großflächigen Ländern oft eine entscheidende Rolle. Sofern Vektordaten schon existieren und zugänglich sind, werden auch solche planungsrelevante Daten in das Kartiermodul integriert. In diesem Fall konnte auf administrative Grenzen zugegriffen werden, die nur noch in das moduleigene Koordinatensystem transformiert werden mussten. Die Grenzen sind in dieser Übersicht von besonderer Bedeutung, da die Verwaltung der Schutzgebiete in Äthiopien bisher auf regionaler Ebene mit sehr geringer Kenntnis über angrenzende Regionen erfolgte.

Am Beispiel der Pilotstudie zur Neutrassierung einer Eisenbahnverbindung zwischen Juba (Südsudan) und Gulu

(Uganda) sollten in diesem Maßstab mögliche Routen gefunden sowie verglichen werden und die Auswahl einer bevorzugten Trassenführung für die nächste Arbeitsphase getroffen werden. Einen möglichen Korridor für die neue Bahntrasse zeigt die Abbildung 1 mit der schwarz-weiß gestreiften Signatur. Ausschlaggebend für die Linienfindung waren in diesem Projekt zum einen topographische Begebenheiten wie das Relief und Hydrographie, in diesem häufig überfluteten und von Sümpfen geprägten Landstrich, und zum anderen ganz praktische Aspekte wie schnelle und effiziente Möglichkeiten für Materiallieferungen und Versorgungsanbindung.

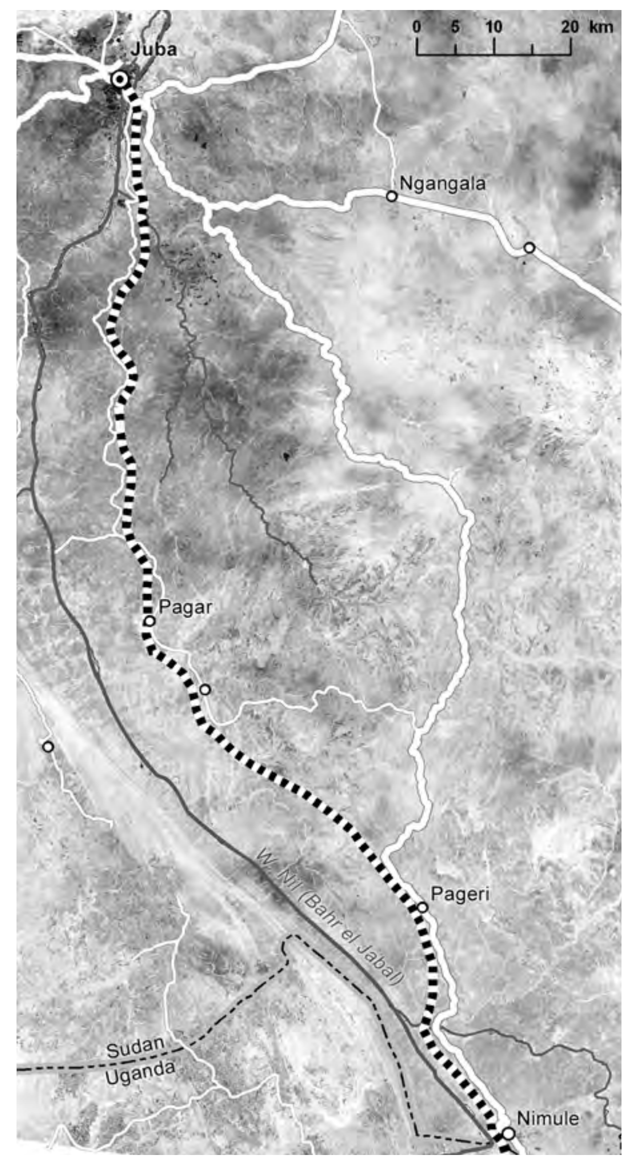


Abbildung 1: Mögliche Eisenbahntrasse von Juba nach Nimule

4.2 Zweite Planungsphase – 1 : 250.000 Arbeitskarten
In einer zweiten Arbeitsphase steht meistens die Validierung der zusammengetragenen und visuell interpretierten Daten an. Diese erfolgt bestenfalls vor Ort, im Gelände. Hierzu werden sogenannte Arbeitskarten angefertigt. An erster Stelle müssen diese Arbeitskarten also eine problemlose Navigation ermöglichen. Zudem müssen auch eventuell notwendige Daten-Neuerhebungen im Gelände auf der Grundlage dieses Kartenmaterials möglich sein. Hierzu ist mindestens ein Kartenmaßstab von 1 : 250.000 notwendig. Ein Maßstab dieser Größenordnung hat zudem den Vorteil, dass die meisten Ursprungsdaten (z.B. topographische Karten) häufig in diesem Maßstab vorliegen. Generell würde der Maßstabsbereich von 1 : 1 Mio. oder 1 : 2 Mio. der vorherigen Planungsphase bei weitem nicht den gestiegenen Genauigkeitsanforderungen an diese zweite Phase entsprechen.

Ein Beispiel für die Erstellung solcher Arbeitskarten wurde im Rahmen des Pilotprojektes „Bahntrassierung Juba – Gulu“ mit Schüßler-Plan in Angriff genommen. Gesamtziel des Projektes ist die Planung einer Eisenbahnverbindung von der südsudanesischen Hauptstadt Juba bis an den Indischen Ozean. Hierzu wird durch die Firma Schüßler-Plan an der Anbindung an das bestehende Eisenbahnnetz in Uganda gearbeitet. Die Stadt Gulu in Uganda dient als Anschlusspunkt der neu zu planenden Trasse von Juba an ein bereits bestehendes Bahnnetz in Ost-Afrika, welches durch Uganda, und Kenya bis an den Indischen Ozean führt. Zu der Pilotstudie gehören sowohl die Konzeption möglicher Bahntrassen zwischen Juba und Gulu (Planungsphase 1), als auch die Erstellung von Geländekarten (Planungsphase 2) bis hin zur Auswahl geeigneter Positionen für die Bahnhöfe in Juba (Planungsphase 3).

Die in diesem Projekt erstellten Arbeitskarten erwartet der praktische Einsatz im Gelände. Hintergrund der Geländearbeit ist in diesem Fall die Befahrung der favorisierten Trasse zur Vorsondierung und Bodenbeprobung. Es wird überprüft, ob die auf dem Papier bisher favorisierte Trasse auch in der Realität die günstigste Strecke darstellt und die in der visuellen Interpretation erfassten Daten vollständig und richtig sind. Gleichzeitig sollen Bodenuntersuchungen durchgeführt werden, um Rückschlüsse auf Beschaffenheit und Tragfähigkeit des Baugrundes ziehen zu können. Zudem dienen die Karten dieses Maßstabs der Vorbereitung einer Trassenbefliegung, die notwendig ist, um genaue Höhendaten der Strecke mit Hilfe photogrammatischer Auswertungen der Luftbilder zu erhalten. Eine gute Kenntnis und hohe Genauigkeit der Höhen sind für die Feintrassierung (siehe 4.4) außerordentlich wichtig. Mögliche Steigungen der Bahnstrecke unterliegen strengen Regularien und notfalls müssen Umfahrungen, Aufschüttungen oder Bodenabtrag in Betracht bezogen werden.

4.3 Dritte Planungsphase – 1 : 20.000 Standorte Schlüsselbauwerke / Raumwiderstandkartierung
Zu dieser Planungsphase gehört sowohl die Konzeptionierung möglicher Bahntrassen im städtischen Bereich als auch die Auswahl geeigneter Positionen für die Bahnhöfe. Bei der Feintrassierung in Juba spielt vor allem der Eingriff in die vorhandene Stadtstruktur und eine Verträglichkeit mit der geplanten Stadtentwicklung eine große Rolle. Mithilfe einer Raumwiderstandskartierung und der darauf aufbauenden Analyse sind die Vorteile und etwaige Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien zu begutachten.

Die Güter- und Personenbahnhöfe sollten aus sicherheitstechnischen Aspekten räumlich voneinander und insbesondere die Personenbahnhöfe zusätzlich vom Flughafen getrennt werden. Der Standort des Güterbahnhofs hingegen ist für einen effizienten Warenumschlag in direkter Flughafennähe gewünscht. Zudem musste ein adäquater Brückenstandort pro Trasse für die Überquerung des Bahr el Jabal (Weißer Nil) gefunden werden. Als günstigste Flussüberquerung hat sich bei allen drei Trassenoptionen ein und dieselbe Stelle herausgestellt. Abbildung 2 zeigt drei mögliche Trassen mit den dazugehörigen Personenbahnhöfen sowie den optimalen Standort für den Güterbahnhof und die Nil-Brücke.
Ein weiteres gutes Beispiel für die Standortsuche im Maßstabsbereich 1 :20.000 / 1 : 10.000 wurde in einem Projekt mit der Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) – International Services (IS) umgesetzt. Für eine Pilotstudie zur Planung von Regenwassersammelbecken im Südsudan standen keine adäquaten topographischen Karten beziehungsweise Höhenmodelle zur

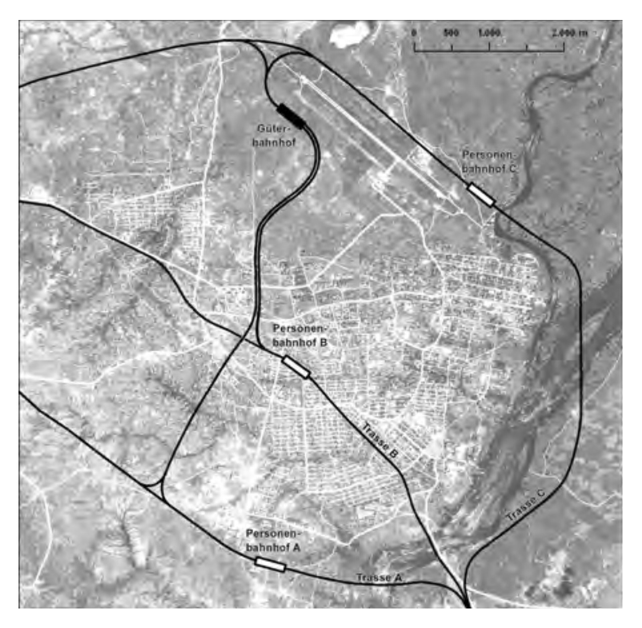


Abbildung 2: Mögliche Standorte der Personen- bzw. Güterbahnhöfe in Juba

Verfügung, so dass nur Satellitenbilddaten mit einer geometrischen Auflösung von 5 m eingesetzt werden konnten. Eine Geländebegehung schloss sich wegen der augenblicklichen Sicherheitslage aus.

Die visuelle Interpretation erfolgte unter Berücksichtigung der Karteninhalte von kleinmaßstäbigen Karten (1: 250.000 / 1: 500.000). Besonderes Augenmerk wurde auf das Gewässer- und Entwässerungsnetz einschließlich von Sumpflandschaften gelegt, um daraus das Abflussverhalten der Oberflächengewässer abzuschätzen. Anhand dieser hydrologischen Grundlagen wurden die geplanten Standorte der Wasserbauwerke überprüft. Darüber hinaus wurden Wege, Siedlungen und Ackerbauflächen erfasst, um die Logistik für die Bauphase besser planen zu können.

Die in acht Wochen entwickelten Unterlagen wurden fristgerecht mit der Pilotstudie eingereicht.

4.4 Vierte Planungsphase – Feintrassierung (1 : 2.500 / 1 : 5 000)
An dieser Stelle endet die Arbeit aus kartographischer Sicht eigentlich, der Vollständigkeit halber soll aber auch die sich anschließende Feintrassierung und Bauphase erwähnt werden. Karten für die Bauphase werden zumeist in den Maßstäben 1 : 2.500 oder 1 : 5.000 angefertigt. An dieser Stelle werden die Geoinformationssysteme zur Kartenerstellung in der Regel durch CAD-Systeme ersetzt.

Die Entscheidung über den am besten geeigneten Standort sowie die Feintrassierung der gesamten Strecke erfolgt erst nach Abschluss des Forschungsprojektes, da hierzu die Phase 2 mit der Befliegung abgeschlossen und ausgewertet sein muss.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Typisch für den erreichten Entwicklungsstand ist, dass alle bisher gesammelten GIS-Datenbanken unvollständig sind und dauernd „laufend“ gehalten werden müssen. Dies gilt im besonderen Maße für den kurz vor seiner Unabhängigkeit stehenden Staat des Südsudan. Hier wurden innerhalb der letzten 25 Jahre durch Bürgerkrieg nicht nur viele Planungsunterlagen vernichtet, sondern auch die ohnehin sehr spärliche Infrastruktur zerstört. Daraus ergibt sich ein extrem hoher Entwicklungsbedarf für aktuelle Karten von klein- bis großmaßstäbigen Planungsunterlagen.

Von besonderer Dringlichkeit sind im Südsudan der Ausbau des Straßennetzes und die Verbesserung der Planung für existierende und neu anzulegende Siedlungen.

Darüber hinaus sind Planungen der nachhaltigen landwirtschaftlichen Nutzung dringend notwendig. Für all diese Aktivitäten können die hier beschriebenen flexiblen Kartiermodule eingesetzt werden.

Literatur

[MEI02] Meissner, Bernd; Ripke, Ursula: Kartierung entlegener Regionen – Chancen und Risiken der Weiterentwicklung von Kartiermethoden durch Fernerkundung und navigationsgestütztes GIS-Management. In: Kuper, Rudolph (Hrsg.): Africa Praehistorica, 14, Tides of the Desert – Gezeiten der Wüste, S. 363 – 370, Köln, 2002.

[LEM07] Lemcke, Nadja: Konzept zur Landnutzung – Erassung in einem Feuchtgebiet – Sudd, Sudan. Unveröffentl. Masterarbeit im FB III der Beuth Hochschule Berlin, 2007.

[BEL09] Bellot, Franz-Fabian, Meissner, Bernd: Entwicklung eines Geoinformationssystems für Groß-Khartoum. – Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, 14, Stuttgart, 2009.

Kontakt

Prof. Dr. Ursula Ripke
Beuth Hochschule für Technik Berlin
FB III Bauingenieur- und Geoinformationswesen
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 2026
E-Mail: ripke@beuth-hochschule.de

Prof. Dr. Bernd Meissner
Beuth Hochschule für Technik Berlin
FB III Bauingenieur- und Geoinformationswesen
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 2606
E-Mail: meissner@beuth-hochschule.de

Kooperationspartner

Schüßler-Plan Consult GmbH
Geschäftsführung: Dr.-Ing. W. Haumer
Tel: (030) 42 106 - 250
E-Mail: w.haumer@schuessler-plan.de
http://www.schuessler-plan.de

Der Berliner Mauerstreifen im Wandel der Zeit

Bennet Schulte M. Sc., Dipl.-Ing. (FH); Prof. Dr. Jürgen Schweikart
Kooperationspartner: 3D RealityMaps GmbH

Die Mauer war bis 1989 das längste Bauwerk Berlins und ist heute im Stadtbild fast vollständig verschwunden. Im Kontext der Weltgeschichte weiterhin präsent, suchen viele nach Spuren: Besucher genauso wie die Berliner selbst. Dieses Projekt hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Situation von 1989 virtuell zu konservieren und mit der aktuellen Situation visuell vergleichbar zu machen. Dies wird mithilfe der Google Dienste Maps, Earth und Street View für eine breite Anwendergruppe erreicht.

Not only is the Berlin Wall interesting for tourists but it is also of general interest because of its function as a disappeared historic structure in the context of the history of the world. In order to compare the actual status of the former death strip with 1989 unique data was collected. A didactic and freely accessible online application was created. The data can be visualised using the Google services Maps, Earth and Street View. The collected data of 1989 and 2009 was visualised in order to reach a wider audience.

1. Einleitung

Der Verlauf der Mauer ist heute nur noch an wenigen Stellen des ehemaligen Grenz- und Sperrgebietes der DDR um das ehemalige Berlin (West) erkennbar. Das Forschungsprojekt will dieses nachvollziehbar machen und es ermöglichen, die Situation Ende der 80er Jahre mit der heutigen zu vergleichen. Mit der größten Nutzergruppe, außergewöhnlichen Webdiensten und Geodaten sowie dem größten Entwicklerteam auf dem Markt, boten sich Lösungen auf Google-Basis als Plattform für das Forschungsprojekt an [Ree 11]. Sie sind zwar proprietär, aber verfügen über eine umfangreiche Programmierschnittstelle (API), performante Geodaten, sind kostenlos, nahezu ausfallsicher und werden ständig weiterentwickelt.

2. Beschreibung des Forschungsgegenstands und Ziels

Gegenstand der Forschung ist der Streifen der DDR-Grenzbefestigung um den Westteil Berlins, der von 1961 bis 1989 bestand. Der sogenannte Berliner Mauerstreifen verlief auf dem Hoheitsgebiet der Deutschen Demokratischen Republik, der bis 1949 sowjetisch besetzten Zone, sowie im sowjetischen Sektor an der Grenze zu den Berliner Sektoren der Westalliierten. Er verlief daher nicht nur durch Berlin, sondern auch um den westlichen Teil der Stadt (vgl. Abb. 1). Innerhalb des Forschungsprojektes wurde berechnet, dass das Grenzsystem eine Fläche von ca. 60 km² hatte. Forschungsziel war das Sammeln von Bild-, Geo- und Sachdaten, um den Zustand 1988/89 und 2009/10 aufzuarbeiten, zu konservieren und zu visualisieren. Durch einen weiteren Zeitschnitt, z. B. im Jahr 2029/30, könnte außerdem ein City-Monitoring des Arbeitsgebietes erstellt werden.

Es ist ein Ziel, dass ein möglichst großes Publikum kostenfrei über die gesammelten Daten verfügen kann. Zu diesem Zweck wurde eine didaktisch und touristisch aufgearbeitete Onlineanwendung auf Basis der Google Dienste Maps, Earth und Street View kreiert. Diese Technologie gestattet dreidimensionale Visualisierungen auf dem digitalen Globus Google Earth (vgl. Abb. 1), der in der kostenfreien Desktopapplikation zusätzlich mit Street View (vgl. Abb. 2) verfügbar ist. Als Browser-Plug-in erlaubt Earth 3D im Webbrowser den freien Wechsel zum 2D-Kartendienstes Maps, und ist damit weitgehend unabhängig vom Betriebssystem auch auf mobilen Endgeräten verfügbar. Zudem können relativ aktuelle Geodaten in Form von Luft- und Satellitenbildern (2006), Straßendaten (2006), 360° Straßenpanoramen (2008), 3D-Stadtmodelle (2010) usw. sowie eine API von Google entgeltfrei verwendet werden. Mit Hilfe dieser API wurden die gesammelten Geodaten in eine steuerbare Anwendung implementiert und mit Google Geodaten verschnitten. Die implementierten Daten umfassten 1989er Luftbilder des Mauerstreifens, Bodenvergleichsfotos von 1988/89 und 2009/10, ein detailliertes 3D-Modell des Grenzsystems von



Abbildung 1: Google Earth – Mauer um Berlin (West)
(Für Druck farblich angepasst)

1989, Geodaten über die administrative Entwicklung Berlins, den Verlauf des heutigen Berliner Mauerweges, Informationen und Lage von Museen und Gedenkstätten aus der Datenbank der Gedenkstätte Berliner Mauer sowie die verorteten 136 Opfer der Berliner Mauer samt ihrer Geschichte. Diese Informationen unterstützen den didaktischen Nutzen und sollen Wissen mit modernen Onlinediensten vermitteln, konservieren und präsentieren. Innerhalb des Forschungszeitraums lagen wichtige Jährungen in Zusammenhang mit der Berliner Mauer. 2009 wurde das 20-jährige Jubiläum des Mauerfalls 1989 und 2010 das der Wiedervereinigung 1990 begangen. 2011 jährte sich der Mauerbau 1961 zum 50-igsten Mal.

3. Kooperation / Präsentation / Fortbildung

Das Unternehmen 3D RealityMaps aus Potsdam ist Experte beim Modellieren von 3D-Modellen und Verwenden von Luftbildprodukten und unterstützte das Projekt mit seinem Wissen.

Das Projekt wurde 2010 auf der AGIT (Symposium und Fachmesse angewandte Geoinformatik) der Universität Salzburg vorgestellt und errang beim Posterwettbewerb den vierten Platz. Dasselbe Poster wurde auf dem 58. Deutschen Kartographentag 2010 präsentiert. Auf dem 48. Deutschen Historikertag 2010 zum Thema „Über Grenzen" konnten weitere Erkenntnisse gewonnen und Kontakte zu Historikern hergestellt werden. Zudem wurde das Projekt mehrfach an der Beuth Hochschule präsentiert, unter anderem zum Hochschultag, dem Tag der offenen Tür, im Rahmen der Berichte der Forschungsprojekte und auf weiteren Veranstaltungen für Interessierte. Dabei wurde der didaktische Nutzen an einer Schulklasse erfolgreich erprobt. Die Schüler durften die Anwendung frei nutzen und selbst entdecken. Ihnen wurde ein Bogen mit Fragen zu bestimmten Fakten der Berliner Mauer beigegeben, den es auszufüllen galt. Alle Schüler waren in der Lage, die Fragen durch die Nutzung der Anwendung richtig zu beantworten.

4. Genese des Forschungsprojektes

Die Basisidee des Forschungsprojektes entstand Ende 2005, als die erste veröffentlichte Beta Version von Google Earth getestet wurde. Auf den Luftbildern Berlins zeigten sich sichtbare Spuren in der Siedlungsstruktur, die auf den Mauerstreifen zurückzuführen waren. Mit dieser Erkenntnis wurde bereits damals begonnen, den ehemaligen Verlauf der primären Vorder- und Hinterlandsperren mit Hilfe des Polyline-Werkzeugs zu digitalisieren. Ende 2007 wurde ein Projektantrag ausgearbeitet. Die Arbeit begann Anfang September 2009 und dauerte bis Ende Februar 2011. In der Zwischenzeit erschien mit dem Google Earth Browser Plug-in Mitte 2008 eine Möglichkeit, die Daten dreidimensional im Webbrowser zu präsentieren. Durch Street View eröffnete sich Ende 2010 eine weitere räumliche Dimension. Da die 360° Straßenpanoramen über eine interne 3D-Oberfläche verfügen wurde es möglich, die 3D-Mauer innerhalb echter 360° Panoramen zu visualisieren.

5. Elemente des Projektes

5.1 Vergleichsbilder

1084 Panoramen, die die Grenztruppen der DDR 1988 und 1989 entlang des Kolonnenweges des gesamten Mauerstreifens aus ca. zehn Metern Höhe aufgenommen hatten, sowie die Karte der Grenztruppe 1:5000 aus dem Jahr 1986 wurden durch das »Berliner Mauer-Archiv Hagen Koch« zur Verfügung gestellt. Im Rahmen des Projektes war es nicht möglich, für alle 1084 Aufnahmen Vergleichsfotos herzustellen. Es wurden 156 Standorte gewählt. Die Auswahl verfolgte das Ziel, den Mauerstreifen in regelmäßigen Abständen auf Fotos abzubilden bei gleichzeitig relevantem oder ansprechendem Bildinhalt. Dadurch häufen sich die Bilder aus der Innenstadt. Die Mauer in den siedlungsschwachen Randgebieten erwies sich eher als monoton. Hier verlief der Mauerstreifen über lange Strecken zwischen Feldern oder durch Wälder. Insgesamt legten die Forscher mit Unterstützung von Freunden und Kollegen bei 14 Touren rund 800 km in und um Berlin zurück und nahmen 2200 Fotos auf. Höhepunkt der Feldarbeit war die genehmigte Aufnahme von Vergleichsbildern vom Dach des Brandenburger Tores. Mittels Adobe Photoshop wurden die Fotos nachbereitet. Die originalen Aufnahmen mussten von Staub, Kratzern oder Haaren befreit werden. Die Auflösung und Graustufen wurden digital verbessert und weboptimiert als JPG-Dateien mit einer Auflösung von 500 x 250 Pixeln und einer Dateigröße von ca. 55 Kilobyte gespeichert. Für jeden Standort wurde dann eine KML-Datei erstellt, die die Koordinaten der Fotos, die dreidimensionale Kameraposition sowie einen geographischen Namen und die Blickrichtung beinhaltete. Die Kameraposition dient in Google Earth dazu, bei einem Doppelklick in die genaue Position der Aufnahme im virtuellen Raum zu schwenken (vgl. Abb. 2). Die 156 KML-Dateien wurden abschließend in eine Datei überführt.



Abbildung 2: Street View mit Vergleichsfotos

5.2 Luftbilder

Ein weiteres wichtiges Element bilden die Luftbilder eines Bildflugs vom April 1989 über Berlin (West). Diese Graustufen-Aufnahmen wurden durch die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung zugänglich gemacht (vgl. Abb. 4 und 5). Es wurden alle Bilder ausgewählt, die den Mauerstreifen abdecken, sodass sie die technisch notwendige Mindestüberlappung erfüllen (vgl. Tab. 1).

Die Bilder zu verarbeiten war eine Herausforderung: Der Bildflug wies keinen stabilen Kurs auf, wodurch der Aufnahmewinkel häufig verkippte und sich die Bilder zum Teil nur um 10% überdeckten. Dadurch konnten nur wenige Verknüpfungspunkte zu Nachbarbildern verwendet werden. Für das Mosaikieren kam erschwerend hinzu, dass es sich nicht um einen kompakten Bildblock handelte, sondern um einen „Bildring“ mit etwa drei Kilometern Breite, der um einen 15 mal 21 Kilometer großen Freiraum angeordnet war. Mit Hilfe der ArcGIS Extension „Arc2Earth 3“ konnten hochaufgelöste Fernerkundungsprodukte von Google zum Georeferenzieren verwendet werden. Es wurden vom Aufnahmewinkel unabhängige und stabile Verknüpfungspunkte in Bodennähe in den Luftbildern gewählt. Besonders Kreuzungen, Zäune und Gewässer wurden auf ihre Lagestabilität der letzten 17 Jahre überprüft und verwendet. Der Vorteil der Google Daten als Referenz lag darin, dass diese zugleich einen Teil des Zielproduktes darstellen.

Für den Außenbereich wurden 70 Luftbilder in ERDAS Imagine mosaikiert. Damit die insgesamt 15 Gigabyte großen Luftbilder über das Internet übertragen werden können, wurde die Dateigröße massiv reduziert. Erreicht wurde dies durch Umwandeln der Daten in sogenannte „TileLayer“. Hierbei werden große Rasterdaten in verschiedene Auflösungsstufen zerlegt und für diese eine Kachelstruktur aus sehr vielen kleinen Rasterdateien erzeugt (vgl. Abb. 3). Es werden immer nur Kacheln übertragen, die notwendig sind, um den Ausschnitt in der Zoomstufe darzustellen, die vom Nutzer betrachtet wird [Pur 07] [Sam 10]. Mit Hilfe der Open-Source Software „MapTiler 1.0“ wurden 12 Auflösungsstufen erzeugt und diese, jeweils in Abhängigkeit von der Stufe in 2 – 2.000.000 PNG-Dateien zerlegt, die jeweils eine Auflösung von 256 x 256 Pixel aufweisen. Dazu wurden steuernde KML-Dateien in gleicher Anzahl erzeugt. Insgesamt wurden während einer Rechenzeit von je 96 Stunden pro Mosaik jeweils bis zu 4 Millionen Dateien mit einer Gesamtgröße von 25 Gigabyte erzeugt. Auf Grund der enormen Anzahl der Dateien dauerte der Transfer mittels FTP-Client zum Webserver mehrere Tage.

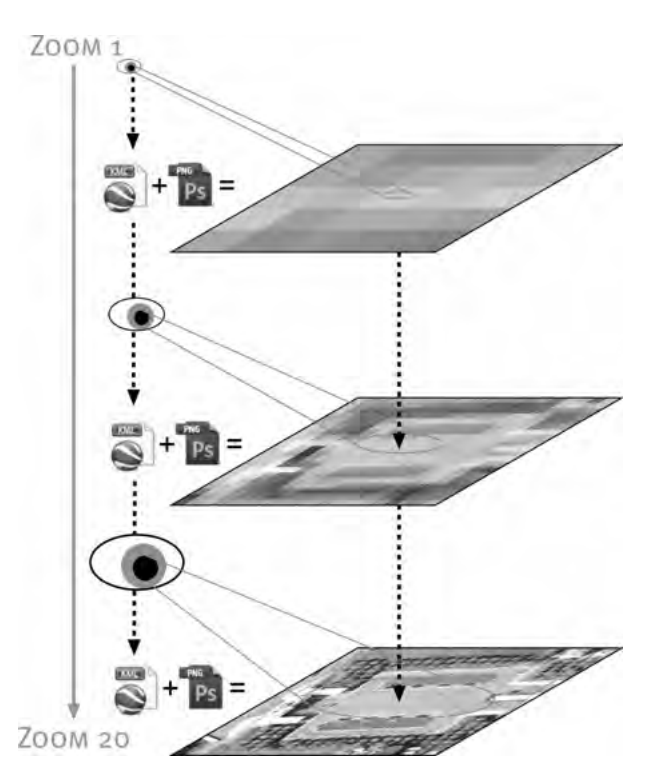


Abbildung 3: TileLayer Funktion

Gebiet	Abdeckung
Berlin (West)	169 km² (48,0%)
Berlin (Ost)	62 km² (17,5%)
DDR/Berlin	4,5 km² (1,3%)
DDR/Brandenburg	119 km² (33,7%)
Gesamt	**354 km² (100%)**

Tabelle 1: Abdeckung und Anteil der 1989er Luftbilder (Quelle: eigene Analyse auf Grundlage des erstellten Geoinformationssystems)

5.3 Mauermodell

Ziel ist es, ein hochdetailliertes 3D-Modell der Berliner Mauer zu erstellen. Dazu sind zwei grundsätzliche Fragen zu beantworten: Welches Koordinatensystem zu benutzen ist und zweitens, welche Basisdaten als Grundlage für ein Modell herangezogen werden können, wenn das Bauwerk in großen Teilen selbst den Grenztruppen gegenüber geheim gehalten wurde.

In Berlin wird in kataster- bzw. vermessungstechnischer Hinsicht das Soldner-Koordinatensystem (Netz 88) genutzt. Jedoch war es wichtiger, das Koordinatensystem im Hinblick auf das Endprodukt, nämlich Googles System, auszuwählen. Google verwendet eine Mercator Projektion mit WGS84 Koordinaten. Dieses System wurde übernommen. Sowohl die Geometrie der Mauer, als auch die Luftbilder von 1989 wurden anhand von den von Google genutzten Luftbildern

georeferenziert. Es ist davon auszugehen, dass sie eine variierende und teilweise von der amtlichen Vermessung des Landes Berlin abweichende Lagegenauigkeit besitzen. Dies musste für das Modell in Kauf genommen werden, führt jedoch im Vergleich zu den amtlichen Geodaten des Landes Berlin zu Lageabweichungen.

Es überrascht nicht, dass der genaue Aufbau des Mauersystems selbst den Grenztruppen nicht vollständig enthüllt wurde. Im Jahr des Mauerbaus 1961 waren alleine in die Westberliner Exklave Steinstücken über 20 DDR-Grenzsoldaten geflüchtet. Unter den 136 Maueropfern waren auch Grenzsoldaten, die von flüchtenden Kameraden erschossen wurden [Ged 10]. Selbst die als geheim geltende Karte der Grenztruppen der DDR im Maßstab 1:5000 war unpräzise. Dazu kommt, dass alle verfügbaren Versionen des Kartenwerks den Stand von 1986 aufwiesen. Durch Gebietstausche im Jahr 1988 und Modernisierung, z. B. dem Austausch der Wachtürme, hatten sich nach den Erkenntnissen im Forschungsprojekt sowohl Anzahl, Position wie auch der Grenzverlauf bis 1989 verändert.

Der Senat von Berlin verfügt zwar bereits über ein amtliches Mauermodell, dieses zeigte jedoch im Detailgrad Schwächen. Da das Modell zum damaligen und heutigen Luftbild passen muss, wurde ein neues erstellt. Die neue Geometrie entspricht dem realen Verlauf der Sperranlagen und ist nicht generalisiert. Statt abstrahierter Daten in Form von Karten oder Zahlen dienten historische Luftbilder und Bodenfotos als Grundlagen. Diese Fotografien bildeten die Realität ab und sind verlässlich. Die Karte der Grenztruppen wurde beim Abgleich der Bilder und dem Erfassen nicht sichtbarer Grenzen, wie dem Sperrgebiet, verwendet (vgl. Tab. 2).

Alle Sperrelemente wurden auf der Grundlage der historischen Luftbilder mit ArcGIS digitalisiert und die Art der Anlage mit Hilfe der Bodenbilder und Karten bestimmt. Es wurden Vorder- und Hinterlandmauern bzw. -zäune, elektrische Signalzäune, Hundezwinger sowie zusätzliche Vorder- und Hinterlandbefestigungen erfasst (vgl. Tab. 3). Von den 266 identifizierten Wachtürmen wurden 243 anhand der Bodenfotos, oder ihres Schattenwurfs, den drei bekannten Typen zugeordnet. Diese Typen sind Führungsstellen, Beobachtungsturm Typ-11 (BT-11) und die diesen ab 1975 ersetzenden des Typs-9 (BT-9). Nicht zuordenbar waren 23, darunter Türme an Wasserkontrollpunkten, auf dem Speicher an der Oberbaumbrücke und versteckte in den Häusern an der Schwedter Straße (vgl. Tab. 4). Obwohl viele Bahnlinien das Grenzgebiet passierten, wurden lediglich die Transittunnel der S2, U6 und U8, die gesondert bewacht wurden, aufgenommen. Insgesamt wurden Elemente mit einer Länge von zirka 1000 km erfasst (vgl. Tab. 3).

5.4 Mauerweg, Maueropfer, Kurioses

Der Verlauf des Mauerweges wurde aus Senatsquellen entnommen. Anhand der Biographien der Maueropfer aus den Quellen der Gedenkstätte Berliner Mauer wurde der Todesort ermittelt und verortet, die Umstände aus den Biographien zusammengefasst und an der entsprechenden Position mit HTML und KML hinterlegt.

5.5 Gedenkstätten und Museen

Die Gedenkstätte Berliner Mauer stellte für das Projekt die Daten ihrer „Datenbank der Deutschen Teilung“ zur Verfügung (vgl. Abb. 1). Die SQL-Datenbank wurde mit MySQL-Admin bearbeitet. Dabei fiel auf, dass keine Fremdschlüssel verwendet wurden. Diese stellen sicher, dass nur definierte Werte in die Tabellen eingetragen werden können. Dadurch werden Redundanzen eliminiert und die Konsistenz der Daten gesichert. Aufgrund der Struktur konnte auch kein Logikbaum generiert werden, um eine Übersicht über die Verknüpfungen der Schlüssel untereinander zu erlangen. Die einzige Möglichkeit ein Kreuzprodukt zu vermeiden bestand darin, die Gedenkorte aus der Adresstabelle auszulesen. Hier waren jedoch fälschlicherweise nur 99 der 121 Gedenkorte eingetragen. Da in der Datenbank nicht nach etwas gesucht werden konnte, das fehlt, konnten die fehlenden 14 nicht identifiziert werden. Es ist jedoch bekannt, dass unter anderem die Stätte für Chris Gueffroy dazu gehört. Anhand der hinterlegten Koordinaten wurden die Daten über ein Skript in KML exportiert, die entsprechenden Informationen an den passenden Stellen in der KML-Struktur eingefügt und die Lage anhand der Luftbilder gegebenenfalls korrigiert.

Art	Berlin (Ost) Fläche in km²	DDR/Berlin Fläche in km²	DDR/Brandenburg Fläche in km²	Gesamtfläche in km²
Hinterlandsperrgebiet	3,63 (49%)	0,73 (74%)	41,30 (67%)	45,66 (66%)
Todesstreifen	3,00 (40%)	0,21 (21%)	11,25 (18%)	14,46 (21%)
Vorderland	0,81 (11%)	0,05 (5%)	8,65 (14%)	9,51 (14%)
Gesamt	**7,44 (100%)**	**0,99 (100%)**	**61,20 (100%)**	**69,63 (100%)**

Tabelle 2: Flächen des Mauermodells (Quelle: eigene Analyse auf Grundlage des erstellten Geoinformationssystems)

Art	Berlin (Ost) Länge in km	DDR/Berlin Länge in km	DDR/Brandenburg Länge in km	Gesamtlänge in km
Vorderland-sicherungsmauer	37,54 (33%)	3,82 (3%)	73,70 (64%)	115,06 (100%)
Vorderland-sicherungsmauer XXL	0,16 (100%)	-	-	0,16 (100%)
Vorderland-sicherungszaun	13,09 (30%)	0,29 (1%)	29,77 (69%)	43,15 (100%)
Z. Vorderland-sicherungsmauer	3,34 (48%)	-	3,59 (52%)	6,93 (100%)
Z. Vorderland-sicherungszaun	1,94 (17%)	-	9,20 (83%)	11,14 (100%)
Hinterland-sicherungsmauer	45,58 (48%)	4,45 (5%)	43,87 (47%)	93,9 (100%)
Hinterland-sicherungszaun	0,01 (0,01%)	2,15 (2,6%)	80,44 (97,39%)	82,6 (100%)
Z. Hinterland-sicherungsmauer	6,77 (87%)	-	0,99 (13%)	7,76 (100%)
Z. Hinterland-sicherungszaun	15,49 (41%)	0,46 (1%)	21,72 (58%)	37,67 (100%)
Elektrischer Signalzaun	39,35 (34%)	3,69 (3%)	72,04 (63%)	115,08 (100%)
Z. Zwischen-sicherungsmauer	8,45 (13%)	3,63 (6%)	51,54 (81%)	63,62 (100%)
Hundezwinger	-	1,35 (9%)	14,17 (91%)	15,52 (100%)
Betonblöcke	2,08 (60%)	0,08 (2%)	1,31 (38%)	3,47 (100%)
Panzersperren (Tschechenigel)	-	-	1,86 (100%)	1,86 (100%)
Kolonnenweg	47,61 (27%)	4,15 (2%)	125,51 (71%)	177,27 (100%)
Lichttrasse	53,14 (27%)	6,77 (3%)	137,84 (70%)	197,75 (100%)
Graben	-	-	12,88 (100%)	12,88 (100%)
S-Bahntunnel	4,28 (100%)	-	-	4,28 (100%)
U-Bahntunnel	7,71 (100%)	-	-	7,71 (100%)
Gesamt	**287,92**	**30,84**	**680,43**	**999,19**

Tabelle 3: Aufgenommene Objekte und ihre räumliche Verteilung (Quelle: eigene Analyse auf Grundlage des erstellten Geoinformationssystems)

Typ	Berlin (Ost) Anzahl	DDR/Berlin Anzahl	DDR/Brandenburg (Anzahl)	Gesamt
Führungsstelle	16 (16%)	1 (14%)	27 (17%)	44 (16%)
BT-11 Wachturm	1 (1%)	2 (29%)	72 (45%)	75 (28%)
BT-9 Wachturm	70 (72%)	2 (29%)	52 (32%)	124 (47%)
Nicht zugeordnet	11 (11%)	2 (29%)	10 (6%)	23 (9%)
Gesamt	**98 (100%)**	**7 (100%)**	**161 (100%)**	**266 (100%)**

Tabelle 4: Türme nach Lage und Anteil (Quelle: eigene Analyse auf Grundlage des erstellten Geoinformationssystems)

5.6 Administrative Grenzen 1919/20 und 1989/2001 / Austauschgebiete 1945 bis 1988

Aus Altkarten und Onlinequellen wurde mit Hilfe von Arc2Earth in ArcGIS auf Basis der aktuellen Bezirksgrenzen der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Googles Luftbildern der Zustand der Grenzen für 1989 erfasst. Zusätzlich wurden die Bezirks- und Stadtgrenzen mit dem Stand 1919/1920 aufgenommen. Es wurden 173 Gebiete in und um Berlin erfasst, die entweder heute bestehen oder ihre Zugehörigkeit zwischen 1920 und 2001 geändert haben. Alle 31 Austauschgebiete, die zwischen 1945 und 1988 entweder an Berlin (West) angeschlossen oder abgetreten wurden, sind recherchiert und wurden in die Applikation übertragen. Die Größte war mit 5,43 km² West-Staaken in Spandau. Das Gebiet wurde 1945 vom britischen an den sowjetischen Sektor Berlins übertragen. Obwohl im Westen der Stadt liegend, war es bis 1961 Teil von Berlin (Ost) und kam dann zum Kreis Nauen der DDR. Im Jahr 1990 wurde es wieder als Teil Spandaus eingemeindet. Die kleinsten Flächen bildeten dagegen mit 2.500 m² die Böttcherberg Exklaven Zehlendorfs. Diese drei Mikroexklaven wurden 1971 an die DDR abgetreten und sind heute Teil von Potsdam-Babelsberg.



Abbildung 4: Google Earth – Leipziger Platz 1989 (Für Druck farblich angepasst)



Abbildung 5: Google Earth – Leipziger Platz 2006 (Für Druck farblich angepasst)

6. Ergebnis

Es konnte ein auf Google-Daten angepasstes, vollständiges Modell der Mauer erstellt werden. Eine Reihe von Alleinstellungsmerkmalen grenzt es gegenüber existierenden Modellen ab. Zu nennen sind die verifizierten historischen Luftbilder, die Bodenfotos der Grenztruppen und die aktuellen Vergleichsbilder, die aus einer angenäherten Perspektive aufgenommen sind.

Alle Daten wurden in ein Geoinformationssystem eingepflegt, dadurch kann erstmals das Ausmaß der Grenzanlagen unabhängig von Angaben der Truppen der DDR quantitativ beschrieben werden. Anhand des Vergleichs der Länge der Vorderland- zu Hinterlandsicherungsanlagen kann festgestellt werden, dass der Verlauf der Anlagen innerhalb der Stadt eine komplexere Geometrie in Richtung Westen aufwies als in Richtung Osten (vgl. Tab. 3). Im Außenbereich verhält es sich umgekehrt. Für die Vorderlandsicherung ist das dadurch zu erklären, dass die Außengrenze der Stadt wesentlich weniger komplex ist als die Bezirksgrenzen im Inneren und dadurch die Gesamtlänge kürzer. Die Hinterlandsicherung folgte aber häufig der komplexen Siedlungsstruktur im Umland und war damit länger. In der Innenstadt war sie kürzer, da häufig „nur“ Mauern zwischen Wohnhäusern benötigt wurden oder die Mauer gerade verlief, da Häuser entfernt wurden.

Es ist festzuhalten, dass noch in den Jahren 1988 und 1989 massive Umbauten entlang der Mauer durchgeführt wurden. Dies zeigt der Vergleich der Luftbilder von 1989 und den Bodenfotos von 1988. Dazu zählen die Reduzierung von Panzersperren (Tschechenigeln) und der fast vollständige Austausch der alten BT-11 Türme in der Innenstadt durch neue BT-9 Türme. Im Umland waren 44 % der Türme vom alten Typ, in der Innenstadt war es nur 1% (vgl. Tab. 4). Die Präferenz bei der Sanierung lag deutlich bei den innerstädtischen Anlagen, die 1989 fast vollständig abgeschlossen war. Die Fokussierung bei den Sicherungsmaßnahmen auf die Innenstadt wird bei einer Analyse der Flächen noch deutlicher. Der weitaus größte Teil der Fläche, nämlich 89 % des Grenzsystems, lagen im Umland, jedoch nur 66 % der Türme. Dies belegt den auf die Fläche gesehen wesentlich höheren Aufwand zum Bewachen der innerstädtischen Grenze. Es fiel zudem auf, dass rund um Berlin hauptsächlich Führungsstellen erhalten geblieben sind (4 von 44). Von der Masse der 124 neuen BT-9 Türme ist im heutigen Berlin keiner im Original erhalten. Interessanterweise ist der letzte der alten BT-11 Türme in der Innenstadt der einzig erhaltene dieser Art der gesamten Berliner Mauer. Auch die Tatsache, dass zwar 89 % des Grenzsystems der Berliner Mauer außerhalb Berlins lagen, der Fokus der Erinnerungskultur aber ausschließlich die Mauer durch die Innenstadt kennt, ist beachtenswert.

Die Daten wurden mit der Google API in eine Webanwendung implementiert. In einer HTML-Seite werden über Checkboxen eines Webinterfaces die Daten ebenenweise in den Anwendungscontainer geladen. Zur besseren Nutzung auf mobilen Geräten (vgl. Abb. 6) sollen künftig die Kontrollelemente auf ein selbsterklärendes Minimum reduziert und in KML die jeweiligen Namen der Objekte hinterlegt werden, um dem Nutzer zu gestatten, die Objekte durch Anklicken zu identifizieren. Eine Legende wird so überflüssig. Die finale Ausgestaltung der Oberfläche wird im Anschluss des Forschungsprojektes stattfinden. Die Daten stehen auch außerhalb der Webanwendung als KML-Datei zur Verwendung in Google Earth (siehe Abbildung 1, 2, 4, 5) zum Download bereit.

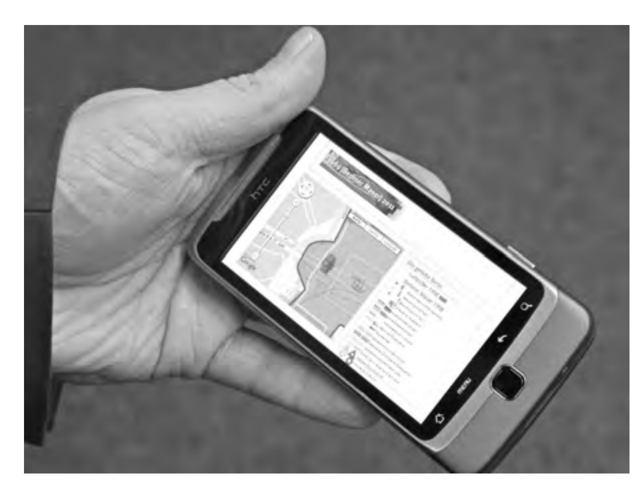


Abbildung 6: Mobile Anwendung

7. Zusammenfassung

Das historisch und touristisch wichtige Thema „Berliner Mauer“ konnte bezüglich seiner räumlichen Dimensionen und Details erschlossen werden. Die Ausgangsdatenlage stellte für das Projekt eine besondere Herausforderung dar. Bis auf wenige Spuren in aktuellen Luftbildern standen wenig detaillierte oder unzureichend genaue Grundlagen zur Verfügung. Neue Daten aus unterschiedlichen Quellen wurden erschlossen. Indem alle verfügbaren Daten in einem GIS kombiniert und verschnitten wurden, konnten neue Grundlagen zum Thema Berliner Mauer erzeugt werden. Erstmals wurden Luftbilder des Mauerstreifen von 1989 auch um Berlin (West) herum einbezogen, Fotomaterial der Grenztruppen der DDR gesichtet und aufbereitet sowie aktuelle Vergleichsfotos hergestellt. Unter Einbeziehung aller Daten konnte ein vollständiges Modell der Mauer um den Westteil Berlins erzeugt und quantifizierte Daten über das Ausmaß der Grenzanlagen gewonnen werden (vgl. Tab. 2 und 4). Die Ergebnisse wurden in einer Webanwendung zwei- und dreidimensional visualisiert (vgl. Abb. 1, 2, 4, 5, 6). Die Daten sind als Webanwendung und als KML-Datei für Google Earth einem breiten Publikum zugänglich und können u. a. für touristische und didaktische Zwecke genutzt werden.

Durch Kooperationen, besonders mit der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, der Senatskanzlei Berlin und der Gedenkstätte Berliner Mauer konnten die Daten verifiziert werden.

8. Ausblick

Die Applikation wurde Mitgliedern der Senatsverwaltung und der Gedenkstätte Berliner Mauer demonstriert und erweckte großes Interesse. Es wird erwogen, das amtliche Modell der Mauer durch das Ergebnis des Forschungsprojektes zu ersetzen. Durch diese zentrale Position wäre ein sehr breites Publikum angesprochen. Eine museale oder schulische Verwendung ist ebenfalls denkbar.

Das Modell schafft eine Datengrundlage, die öffentlich und kostenlos verfügbar ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass auf Basis der Projektdaten weitere Erkenntnisse gewonnen werden sowie weitere Applikationen angeregt und abgeleitet werden. Konkret könnte eine Augmented Reality Anwendung entwickelt werden. Die Hoppala-Agency unter Leitung von Marc Gardeya hat Interesse bekundet, die Daten vollständig in ihre kostenlose Layar-basierte Smartphone App zu implementieren. Damit kann durch Echtzeitüberlagerung des aktuellen Handykamerabildes die Mauer vor Ort im Display visualisiert werden.

Weiterhin kann die Anwendung einen wichtigen Beitrag im geplanten „City-Monitoring“ des Mauerstreifens leisten. Als Grundlage kann es jederzeit um weitere Zeitschnitte ergänzt werden, z. B. im Jahr 2029 wieder im Abstand von 20 Jahren.

Literatur

[Ree 11] Van Rees, Eric: Globalgeo and international Geomatic Week. – in: Geoinformatics, Volume 14, S. 24, April/May 2011.

[Goo 11a] http://www.google.de/intl/de/earth/download/ge/

[Goo 11b] http://code.google.com/intl/de-DE/apis/earth/faq.html#ossupport

[Pur 07] Purvis, Michael; Sambells, Jeffrey; Turner, Cameron: Google Maps Anwendungen mit PHP und Ajax. 1. Auflage. Mitp, S. 182ff., Wien, 2007.

[Sam 10] Sample, John T.; Ioup, Elias: Tile-Based Geospacial Informations Systems. Springer, S. 28ff., New York, 2010.

[Ged 10] Gedenkstätte Berliner Mauer: Die Todesopfer an der Berliner Mauer 1961-1989. Forschungsprojektes des Zentrums für Zeithistorische Forschung Potsdam und der Stiftung Berliner Mauer, 2010. Online: http://www.berliner-mauer-gedenkstaette.de/de/todesopfer-240.html (Stand 19.04.2011).

Kontakt

Prof. Dr. Jürgen Schweikart
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich III Bauingenieur- und Geoinformationswesen
Labor für Geodatenanalyse und Visualisierung
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 2038
E-Mail: schweikart@beuth-hochschule.de

Bennet Schulte, M.Sc. Dipl.-Ing. (FH)
Tel: 0176 - 243 588 93
E-Mail: schulte@beuth-hochschule.de

Kooperationspartner

3D RealityMaps GmbH
Friedrich-Ebert-Str. 8
14467 Potsdam
Tel: (0331) 2015 255

Softwareentwicklung für Positionsbestimmung mit Satelliten

Dipl.-Ing. (FH) Uwe Hofmann; Prof. Dr. Wilfried Korth
Kooperationspartner: Ingenieurbüro Gerstenberg

Das Forschungsziel ist die Entwicklung eines satellitengestützten Einfrequenz-Positionierungssystems für Anwendungen, welche die Präzision der Zweifrequenz-Vermessungssysteme nicht benötigen. Einfrequenz-Systeme werden in der Navigation eingesetzt. Hohe Stückzahlen halten die Kosten zwar niedrig, allerdings beträgt die Positionsunsicherheit mehrere Meter. Somit sind diese Low-Cost Systeme in der Archäologie, Geologie, Forst- und Landwirtschaft nicht einsetzbar. Die Genauigkeit steigt mit optimierten Antennen und einer alternativen Datenauswertung. Solche Systeme sind eine Alternative zu den teuren geodätischen Geräten. Einige, auf dem Markt erhältliche Einfrequenzempfänger, unterscheiden sich im Einsatz mit hochwertigen Antennen kaum von geodätischen Systemen. Der Hauptschwerpunkt der Forschung liegt also in der der Verbesserung der Antennen und Programmierung von angepassten Rechenalgorithmen.

The Aim of this research is the development of a satellite-based one-frequency positioning system for applications, which do not require the precision of two-frequency surveying systems. One frequency systems are used for navigation. Mass customisation keeps the costs low. However the position uncertainty amounts to several meters. Therefore these Low-Cost- Systems are not applicable in the archaeology, geology, forestry and agriculture. Due to optimized antennas and alternative data-processing the accuracy can be improved. Such systems would be then an alternative to the expensive geodetic devices.Some of the one-frequency receivers that are available on the market are approximately as exactly as geodetic systems if they are connected with high-quality antennas. Therefore the main emphasis of the research is the improvement of the antennas and the programming of adapted computing algorithms.

Einleitung/Beschreibung des Forschungsgegenstands

Der Einsatz satellitengestützter Navigations- und Vermessungssysteme gehört heute nicht nur zum Alltag von Geodäten. Auch im täglichen Leben werden entsprechende Geräte wie z.B. Autonavigationssysteme verwendet. Zwischen der geodätischen Nutzung im Zentimeter-Genauigkeitsniveau und der nur metergenauen Navigation bestehen viele Unterschiede. Es werden bei beiden Nutzungsvarianten verschiedene Daten verwendet und unterschiedliche Messkonzepte eingesetzt. Das Ziel des Forschungsvorhabens bestand in der Einsatzvorbereitung von Empfängermodulen, welche eigentlich für Navigationszwecke bestimmt sind. Diese Low-Cost-Systeme für relative Koordinatenbestimmungen mit Dezimetergenauigkeit sollen dann für Genauigkeiten im cm-Bereich eingesetzt werden können und so für geodätische Messungen nutzbar sein.

Das Forschungsprojekt baute auf vorhergehende Projekte (2002 und 2006) auf. Ziel war es dabei, unter schlechten Empfangsbedingungen (zum Beispiel Waldgebiete) satellitengestützte Positionierungssysteme mit kostengünstigen Einfrequenz-Empfängern zu ermöglichen. Schlechter Empfang und/oder die Verfälschung der Signale der globalen Navigationssatelliten (GNSS) durch Beugung, Brechung und Reflexion führen zu einer ungenauen Positionsbestimmung bis hin zum völligen Ausfall des Signalempfangs und damit dem Verlust der Positionskoordinaten. Die Erweiterung des für viele Zwecke gebräuchlichen GNSS-Einsatzes vom Freiland auf Waldgebiete wäre jedoch für die Forstwirtschaft, die Kartographie und für geografische Informationssysteme (GIS) sehr von Vorteil. Da die hochgenaue geodätische Positionierung innerhalb dieser Arbeitsbereiche in der Regel nicht nötig ist, sollte der Einsatz von Einfrequenz-Systemen untersucht werden.

Mit dem Kooperationspartner Ing.-Büro Gerstenberg wurde ein Prototyp entwickelt, der es ermöglicht, Punkte im Wald mit einer Genauigkeit von unter 5m bei einer Verfügbarkeit von nahezu 100% zu bestimmen. Für die Auswertung und Visualisierung wurde eine Software entwickelt, welche die erzeugten RINEX-Dateien verarbeitet und die jeweiligen Positionen errechnet. Dabei wurden an einem Empfänger 4 gemeinsame Antennenmodule angeschlossen, welche auf einer Grundplatte angeordnet wurden.

Da die GPS-Module auch Trägerphasenbeobachtungen ausgeben können, lag es nahe an einer weiteren Verbesserung des GPS-Empfängersystems (GPSE) für höhere Genauigkeiten zu arbeiten.

Art und Umfang der Kooperation

Im Rahmen der Kooperation mit dem Ing.-Büro Gerstenberg wurde die Hard- und Software weiterentwickelt, wobei der

Schwerpunkt der Hardwareentwicklung beim Kooperationspartner lag und die Softwareanpassungen und umfangreiche Testmessungen und Datenanalysen im Rahmen der Forschungsassistenz bearbeitet wurden. Die Zusammenarbeit war außerordentlich eng und fruchtbar. Es fanden mindestens wöchentliche Besprechungen und Diskussionsrunden statt.

Entwicklung/Stand des Projekts

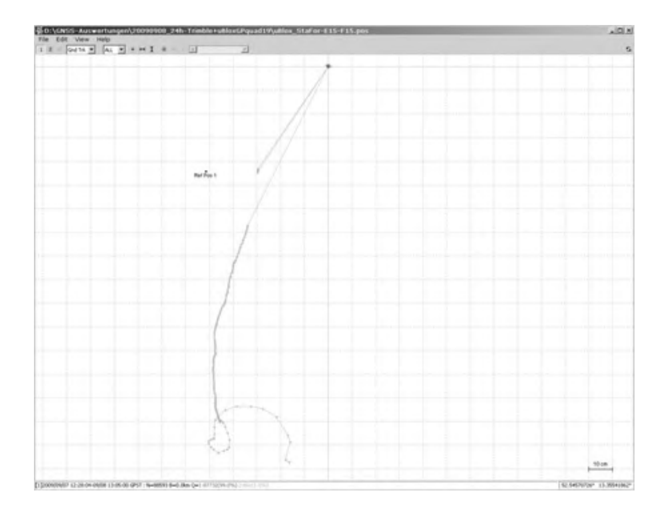
Schon im Verlauf der Vorläuferprojekte wurde begonnen, zusätzlich zu den Codebeobachtungen für die Navigation, auch die Trägerphasen der L1-Frequenz zu erfassen. Während die Codebeobachtungen als Laufzeitmessungen zwischen den einzelnen Satelliten und dem Empfänger eine Genauigkeit um 10m zulassen, gestattet die Auswertung der Trägerphasen eine Genauigkeit im Subdezimeter-Bereich. Es sind 4 Einzelantennen mit den dazugehörigen Empfängern der Firma „uBlox“ angeschafft worden. Diese wurden auf quadratische Grundplatten mit einem 5/8″ Gewinde (geodätischer Standard) gebaut, damit die Messungen über einen fest definierten Punkt erfolgen können.

Die vorhandene Software wurde in Bezug auf die Trägerphasenmessung angepasst und die Möglichkeit eines Echtzeitmodus (Real-Time-Kinematik) implementiert. Kinematische Verfahren liefern in Echtzeit Positionskoordinaten. Für eine zuverlässige Positionsbestimmung müssen Mehrwegeeffekte unterdrückt und das Antennenphasenzentrum stabilisiert werden. In einem weiteren Schritt muss die Antenne zur Genauigkeitssteigerung kalibriert werden.



Bild 1: GPSE mit Antenne

Im Verlauf dieses Forschungsprojektes wurden umfangreiche Testmessungen mit Antennen auf verschiedenen Grundplatten durchgeführt, nachdem festgestellt wurde, dass eine quadratische Grundplatte nicht optimal ist. Experimentiert wurden mit neuen runden Grundplatten verschiedener Durchmesser und verschiedener Materialien. Für die ersten Testmessungen wurden einfache Grundplatten entworfen, da im ersten Schritt nur die Auswirkung der physikalischen Eigenschaften der Antennen auf die Positionierung wichtig ist. Die Software wurde weiterentwickelt, um die Datenaufzeichnungsrate an verschiedene Messbedingungen anpassen zu können (relativ geringere Speicherkapazität, Langzeitmessungen).



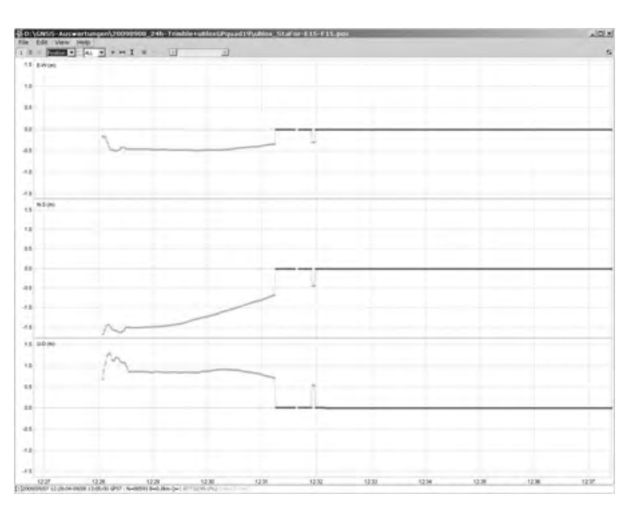


Bild 2: Beispiel für eine Koordinatenbestimmung im Kinematischen Modus mit RTKLIB 2.3.0 [Tak 09a]
Darstellung der Position (oben) und der Koordinatenkomponenten (unten)

Als optimal zur Unterdrückung von Mehrwegeeffekten werden sogenannte Choke-Ring-Antennen angesehen. Solche Antennen sind kommerziell verfügbar, aber ausgesprochen teuer. Auch hierfür wurde nach einer Alternative im Low-Cost-Bereich gesucht, was letztendlich auf eine Neuentwicklung hinauslief.

Der erste Prototype einer Choke-Ring Antenne ist gebaut und erste Messungen sind ausgewertet worden. Die Kosten gegenüber marktüblichen geodätischen, hochwertigen 2-Frequenz Choke-Ring-Antennen wurden durch einen einfacheren Aufbau stark reduziert, ohne die Wirkungsweise zu beeinträchtigen, wobei das Einzelstück noch keine endgültige Kostenaussage zulässt. Das Ziel, eine Antenne für etwa

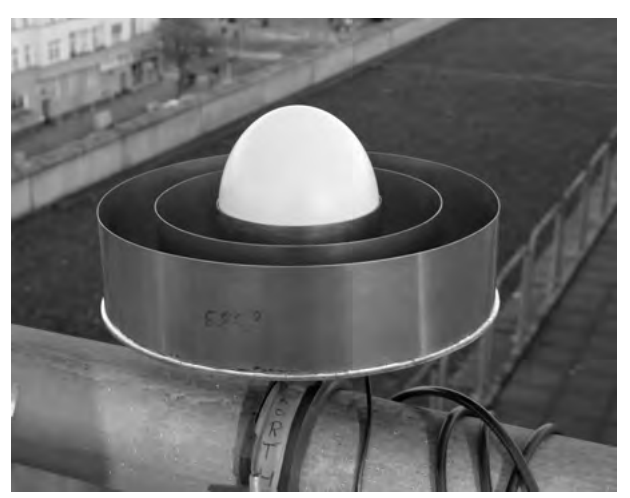


Bild 3: Eigenentwicklung Choke-Ring Antenne für das L1-Signal



Bild 5: Datenlogger

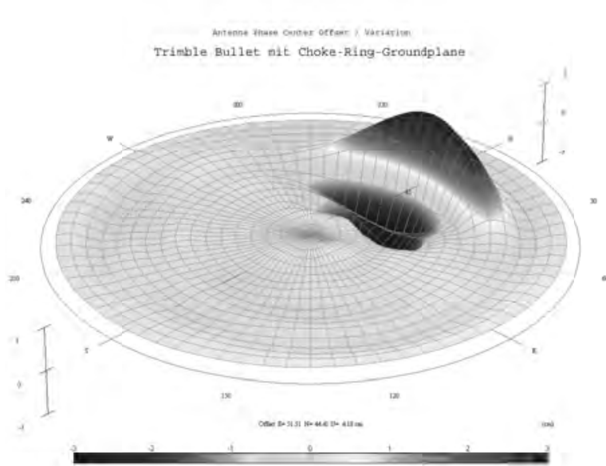


Bild 4: Beispiel für das Ergebnis einer Antennenkalibrierung mit ANTTOOL 1.3 [Tak 09b]

10% des Preises einer 2-Frequenz Choke-Ring-Antenne zu bauen, konnte realisiert werden.

Mit einem robusten und wetterfesten Design und gleichzeitiger Datenaufzeichnung sollen GNSS-Systeme automatisiert arbeiten. Dazu soll durch Einsatz eines Datenloggers auf einen externen Rechner (zum Beispiel angeschlossenes Notebook oder Netbook) verzichtet werden können, was gleichzeitig den Energieverbrauch bei Feldarbeiten auf 20% reduzieren kann.

Zwei Datenlogger wurden fertiggestellt. Für eine eventuelle Übertragung von Korrekturdaten einer festen Basisstation mit bekannten Koordinaten an eine bewegliche Roverantenne sind die Logger mit WLAN-Modulen ausgestattet. Auch mit den Datenloggern wurden bereits erfolgreich Messungen, u.a. im Rahmen eines Forschungsprojektes an einem Rutschhang in Armenien, durchgeführt.

Zeitgleich mit den Testmessungen mit der Choke-Ring-Antenne werden die Möglichkeiten des Einsatzes der sogenannten Real-Time-Kinematik (RTK) untersucht.

Wechselnde Signalstärke beim Empfang führen zu einem Verlust der Positionsbestimmung und eventuell auch der Phasenaufzeichnung an der Basisstation. Damit verliert der Rover-Empfänger seine genaue Position. Wichtig ist daher der gleichzeitige, und vor allem stabile Empfang an beiden Empfängern, um in Echtzeit verlässliche Koordinaten bzw. Koordinatendifferenzen zu bestimmen.

Die Messungen fanden meist unter idealen Bedingungen auf dem Messdach des Labors statt, um die Eigenschaften der Antennen frei von fremden Einflüssen beurteilen zu können. Die Antennen müssen in einem zweiten Schritt auch unter ungünstigeren Bedingungen getestet werden, um zu prüfen, ob akzeptable Genauigkeiten erreicht werden. Diese Aufgabe ist noch nicht realisiert worden. Die kostengünstigen Einfrequenz-Antennen besitzen nicht die hochwertige Unterdrückung von Multipath (Mehrwegeeffekte durch Beugung und Reflexion an Hindernissen wie Kanten und Vegetation) der geodätischen Systeme. Das Herausfiltern der auf direktem Weg von den Satelliten empfangenen Signale ist aber entscheidend für die Stabilität und Genauigkeit der Position.

Für die Antennen muss daher eine Antennenkalibrierung durchgeführt werden. Diese besteht in der Berechnung von Phasenzentrumsexzentrizitäten und -variationen. Erst danach kann die Messgenauigkeit auf einen geometrisch klar definierten Punkt bezogen werden.

Bei erfolgreichem Abschluss des Projektes bietet sich die Möglichkeit, für Anwendungen im Subdezimeterbereich, also keiner höchsten geodätischen Genauigkeit, ein Messsystem zur Positionierung in Echtzeit zur Verfügung zu stel-

len. Anwendungsbeispiele sind bspw. Geodatenerfassungen, archäologische Projekte, Geomonitoring (Vulkanismus, Hangrutschungen) oder Glaziologie (Gletscherbewegungen). Die Kosten dieses Einfrequenz-Systemes liegen etwa bei einem Zehntel der kommerziellen geodätischen 2-Frequenzsysteme.
Anwender, welche mit geringeren Genauigkeitsanforderungen in Gebieten kleiner 20km arbeiten wollen oder können, brauchen dann nicht teure geodätische Messsysteme zurückzugreifen. Eine Vermarktung des Produktes ist geplant, kann aber erst nach endgültiger Fertigstellung abschließend beurteilt werden.

Teilnahme an Projekten und Tagungen

Der Wert eines solchen Messsystems besteht wegen des geringen Energiebedarfs bei kleinem Gewicht in den Einsatzmöglichkeiten für Messungen weit entfernt von „normaler“ Infrastruktur.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes in Armenien wurden die Datenlogger und GPSE zum Monitoring eines Rutschhanges bei mehreren Feldkampagnen eingesetzt. Die Ergebnisse haben unter Beweis gestellt, dass mit dieser technischen Lösung eine den herkömmlichen tachymetrischen Systemen äquivalente Genauigkeit erreichet werden kann. Vorteile sind die automatische Datenerfassung, die auch über lange Zeiträume realisiert werden kann und der wesentlich geringere Energiebedarf, was insbesondere bei Einsätzen wie in Armenien, ohne Netzstromversorgung, von großem Wert ist. Für die Geodätische Woche der Universität Insbruck im Februar 2011 ist ein Beitrag eingereicht und angenommen worden [Res 11].



Bild 6: Einsatz des Systems in Armenien

Außerdem wurde das System auf einer Forschungsexpedition nach Grönland im Juli/August 2010 außerordentlich erfolgreich eingesetzt. Es hat sich als robust und klimatauglich bis zu Temperaturen von – 20°C bei gleichzeitig hoher Luftfeuchte, Vereisung der Systemkomponenten und anderen Umwelteinflüssen erwiesen.



Bild 7: Messungen mit dem Low-Cost-GPSE in Grönland

Die Ergebnisse dieses Projektes wurden auf der Internationalen Polartagung der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung im September 2010 in Obergurgl, Österreich, vorgestellt [Kor 10a; Kor 10b].

Es gab eine gute Resonanz und Interesse von anderen Fachkollegen, z.B. Geophysikern, an der Nachnutzung des Systems.

Zusammenfassung und Ausblick

Es hat sich herausgestellt, dass vor allem die Qualität der Antennen einen Einfluss auf die Genauigkeit der Koordinatenbestimmung hat. Die preiswerten Empfängermodule ermöglichen in Kombination mit hochwertigen Antennen eine Genauigkeit, die nur wenig hinter der mit geodätischen Einfrequenz-Systemen erreichbaren zurücksteht.

Daher ist das Ziel für die Zukunft, neben der Choke-Ring Antenne weitere Antennen zu testen bzw. zu entwickeln oder zu modifizieren.

Auch an anderen Institutionen bzw. Firmen wird an der Lösung dieses Problems gearbeitet wie z. B. bei der Berliner Firma navXperience GmbH, mit der Kontakt aufgenommen wurde, um zukünftig zusammenzuarbeiten. Bei navXperience ist sowohl eine L1/L2-Antenne entwickelt worden, als auch eine preiswerte L1-Antenne in Vorbereitung [Kow 10].

Literatur

[Res 11] Resnik, B. & Korth, W.: Monitoring von Rutschungsgebieten mit geodätischen Sensoren - Ansätze und Erfahrungen. Geodätische Woche der Universität Innsbruck, 2011.

[Kor 10a] Korth, W. & Hofmann, U.: Wiederholungsmessung des Höhenprofils über das Inlandeis

Grönlands. Beitrag zur Internationalen Polartagung der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung, Terra Nostra – Schriften der GeoUnion der Alfred Wegener Stiftung 2010/5, ISSN 0946-8978, Obergurgl, 2010.

[Kor 10b] Korth, W. & Hofmann, U: Eishöhenänderungen im südlichen Grönland. Forum GeoBau, Bd.1, S. 31–41, Berlin, 2010.

[Kow 10] Kowalewski, D.: Entwicklung und Herstellung einer GNSS Antenne für Galileo, GPS, Glonass und Compass, Geodätischen Kolloquiums des DVW Berlin-Brandenburg e.V., TU Berlin, 09.09.2010; http://www.dvw-lv1.de/3_termine/20100909_kowalewski_Folien.pdf

[Tak 09a] Takasu T.; Yasuda, A.: Developement of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB, International Symposium on GPS/GNSS, International Concention Center Jeju, Korea, November 4–6, 2009.
http://www.rtklib.com [Stand: 09.09.2011]
Open Source Software RTKLIB is distributed under GNU GPLv3

[Tak 09b] http://www.gpspp.sakura.ne.jp/anteva/anttool.htm [Stand: 09.09.2011]
Open Source Software ANTTOOL 1.3 is distributed under GNU GPLv3

Kontakt

Prof. Dr. Wilfried Korth
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich III Bauingenieur- und Geoinformationswesen
Labor für geodätische Messtechnik
Labor Chemische und Pharmazeutische Technologie
Luxemburger Straße 10
Tel: (030) 4504 - 5122
E-Mail: korth@beuth-hochschule.de

Kooperationspartner

Ingenieurbüro Gerstenberg
Fritschestraße 68
10585 Berlin

Innovative Methoden und Verfahren für den Bau und Betrieb von Tier- und Freizeitanlagen
Teilaspekt: Energieeinsparungen für Sonderanlagen – Umgang mit Bestandsgebäuden

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Tian; Prof. Dipl.-Ing. Katja Biek
Kooperationspartner: BTB Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft mbH in Berlin

„Innovative Methoden und Verfahren für den Bau und Betrieb von Tier- und Freizeitanlagen" sind die konsequente Fortschreibung eines interdisziplinär angelegten, ESF-geförderten Forschungsvorhabens der Beuth Hochschule für Technik Berlin. Für den großen Bereich von Bestandsgebäuden innerhalb Deutschlands muss ein moderner Umgang mit den immer knapper werdenen Energieressourcen durch neue innovative Methoden und Verfahren entwickelt werden. Dieser Ansatz soll auf die wärmetechnische Versorgung einer Nah- und Fernwärmetrasse übersetzt werden, wodurch u.a. die Bereitschaftsverluste vermindert werden. Im Rahmen der Forschung werden hochmoderne Konzepte mit Hilfe von Simulationen untersucht und erforscht, die dann Rückschlüsse auf die Trasse und Optimierungsmöglichkeiten für die Betreiberseite anbieten.

„Innovative methods and procedures for the construction and operation of animal enclosures and leisure facilities" are the consequent updating of an interdisciplinary research project of the Beuth College of Technology Berlin subsidized by ESF. A modern way of using energy resources running more and more short for the large field of existing buildings has to be developed by applying innovative methods and procedures. This approach is to be transferred to the heat supply of a local and district heating line reducing a.o. standby losses. In the framework of research ultra-modern concepts are investigated and studied by means of simulation offering then to draw conclusions for the line and possibilities of optimization for the operators.

Einleitung

Im Oktober 2009 hat sich der Europäische Rat geeinigt, dass die Industrieländer die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um 80 % bis 95 % gegenüber dem Niveau von 1990 verringern müssen. Das war der Anlass für die Bundesregierung, die Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2020 um 36 % zu reduzieren. Aufgrund dieser Notwendigkeit des Klimaschutzes sollen im Rahmen der Forschungsassistenz V / VI neue innovative Methoden für den Bau und Betrieb von Sonderanlagen in den Bereichen der Tier- und Freizeitanlagen entwickelt und untersucht werden. In Kooperation mit der BTB Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft mbH in Berlin, die das Ziel haben, eine optimierte Energieversorgung für den Kunden und Betrieb anzubieten, werden Sondergebäude auf energetische Anforderungen hin untersucht, um Rückschlüsse auf die Nah- und Fernwärmentrasse zu schließen.

Objektbeispiel - Orang-Utan-Haus

Nachfolgend soll das Orang-Utan-Haus als Forschungsprojektbeispiel und Feldversuchsobjekt als Sondergebäude des Allwetterzoo Münster aufgezeigt werden, um Rückschlüsse des Endenergieverbrauches auf die Nahwärmetrasse zu erhalten. Es sollen zum einem durch Feldversuche vor Ort Messungen von physikalischen Werten erfasst und zum anderen durch theoretische Ansätze die Energiebilanzen für das Objekt untersucht und berechnet werden. Ein probates Mittel für die Berechnung von Luftbewegungen inner- und außerhalb des Objektes sind angesetze Strömungssimulationen.



Abb.1: Fassadenansicht Gehege

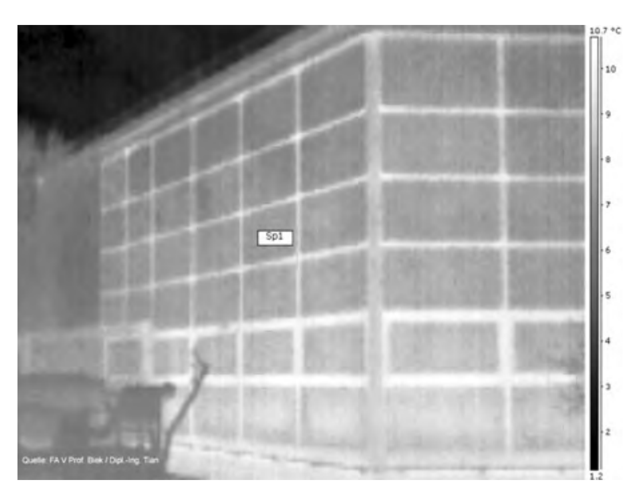


Abbildung 2: Wärmebildaufnahme Fassade

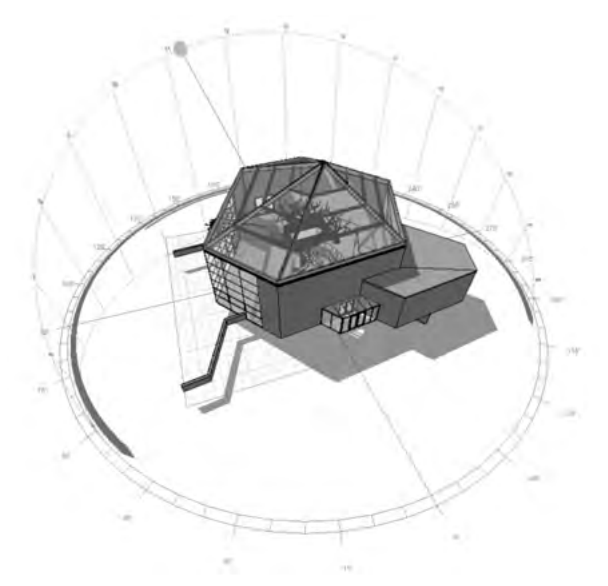


Abbildung 3: Thermische Modell

Das Orang-Utan-Haus steht mitten im Allwetterzoo und ist moderat durch äußere Baumbepflanzung teilweise abgeschirmt (siehe Abb.1). Das Innengehege gibt aufgrund seiner konstruktiven Bauweise erschwerte Rahmenbedingungen für die Durchführung komplexer Strömungssimulationen. Einerseits liegt es an den hohen Bepflanzungsdichten und anderseits an dem transparenten Foliendach, wodurch starke Temperaturschwankungen vorliegen, die zu Unbehaglichkeitsempfindungen für Tier und Mensch führen.

Die Wärme innerhalb eines Gebäudes fließt zum größten Teil über die Umschließungsflächen ab. Daher wurde im ersten Schritt die äußere Hülle des Gebäudes mittels thermografischer Aufnahmen untersucht und analysiert. Mit dieser Technik können Gebäudeundichtigkeiten und Wärmebrücken festgestellt werden. Mit dem gleichen Verfahren wird die Innenhaut bauphysikalisch untersucht. Es werden Wärmedurchgangswerte ermittelt, die sogenannten U-Werte. Sie sind ein Maß für den Wärmeverlust des beheizten Gebäudes von innen nach außen.

Im Innenbereich sind vor allem Behaglichkeitskriterien für die Tiere und Besucher [ISO 7730] maßgebend. Hierfür werden physikalische Messwerte, wie Raumtemperatur, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit durch Dauermessung erfasst. Die Messwerte werden mit den Anforderungen der Tiere und den Anforderungen der Besucher ins Verhältnis gesetzt. Mit diesem Ansatz können völlig neue Konzepte entwickelt werden, die den Besuchern des Zoos auch in den Wintermonaten im Orang-Utan-Gehege eine wohlige und behagliche Atmosphäre bietet. Gleichzeitig bilden sie die physikalische Grundlage für die Heiz- und Kühllastermittlung und sind Teil der Eingabeparameter von Energieausweisen für Nichtwohngebäude.

Im weiteren Verlauf werden die tatsächlichen Luftgeschwindigkeiten an den Luftein- und Luftauslässen sowie an schwierigen Stellen im Gehege- und Besucherbereich gemessen. All diese Ansätze werden innerhalb einer thermischen Simulation sowie einer Strömungssimulation als Randbedingungen nachgebildet. Die Ergebnisse der Simulationen werden mittels Rauchversuchen vor Ort real überprüft. So ergeben sich belastbare Ergebnisse. Durch den Nebelversuch werden auch die theoretischen Ansätze in der Praxis auf ihre Tauglichkeit hin erprobt. Diese Art des Vorgehens und des Verfahrens zur Auslegung von Tiergehegen ist neu.

Strömungssimulationen mit OpenFOAM®

Für thermisch kritische Räume oder schwierige Situationen ist es oftmals angebracht, die Bewegung der Raumluft mit Hilfe von computergestützten Simulationen detailliert zu berechnen. Dabei wird im Rahmen einer Strömungssimulation der kritische Raum, in dem die Luftströmung systematisch berechnet werden soll, in sehr viele finite Volumen unterteilt. Für jedes einzelne Volumen werden dann im Rahmen der Berechnung die vollständigen Erhaltungsgleichungen gelöst. Für dieses Verfahren hat sich die Bezeichnung Computer Fluid Dynamics (CFD) durchgesetzt.

Die mathematische Grundlage für eine Strömungssimulation bilden die Erhaltungs-, die Impuls- und die Energiegleichung. Zusammengefasst definieren diese Formeln die Navier-Stokes-Gleichung. Die Navier-Stokes-Gleichung ist eine nichtlineare partielle Differentialgleichung, die bis heute nur unter Vereinfachungen analytisch zu lösen ist. Für die angewendeten Simulationen wird die Open-

FOAM Toolbox angewendet. Das entscheidende Merkmal für OpenFOAM ist der freiverfügbare Quellcode, wodurch es möglich ist, die Software für den Bereich der Klimatechnik weiter zu entwickeln [TIA 2010].

Die Software OpenFOAM besteht aus einzelnen Programmiersprachen C++ Bibliotheken, wodurch der Anwender sehr schnell in der Lage ist, gezielte mathematische Lösungsverfahren in OpenFOAM umzusetzen. Nachfolgend wird die inkompressible und stationäre Kontinuitätsgleichung und deren Umsetzung als Beispiel in OpenFOAM aufgezeigt:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} = 0$$

mit $\vec{U} = (u\ v\ w)^T$ und phi: $ö = \vec{U}_i$

$$\left(\frac{\partial ö}{\partial x}\right) = \frac{1}{ÄV}\int \frac{\partial ö}{\partial x} dV = \frac{1}{ÄV}\int ö\, dA^x \approx \frac{1}{ÄV}\sum_{i=1}^{N} ö_i A_i^x$$

→ phi = fvc :: div (linearInterpolate(U) & mesh.Sf())

Die Divergenz kann in OpenFOAM explizit gelöst (finite Volume Calculus) werden und gibt ein geometrisches Feld wieder. Zwischen den Knotenpunkten und dem Knotenpunkt auf der Oberfläche des Kontrollvolumens wird eine lineare Interpolation angewendet. Die Kontinuitätsgleichung für ein inkompressibles Fluid wird in OpenFOAM folgendermaßen in C++ programmiert, wobei der Befehl „solve“ die Gleichung löst:

solve(fvc :: div(phi))

Das Innengehege des Orang-Utan-Hauses ist mit dem analytischen Ansatz einer instationären Reynolds gemittelter Navier-Stokeschen Gleichung mit dem Boussinesq-Ansatz für den thermischen Auftrieb durchgeführt. Zur Beschreibung der Parameter einer Berechnung werden alle ermittelten Werte aus den Feldversuchen angesetzt. Start jeder CFD Simulation ist das Erstellen eines geeig-

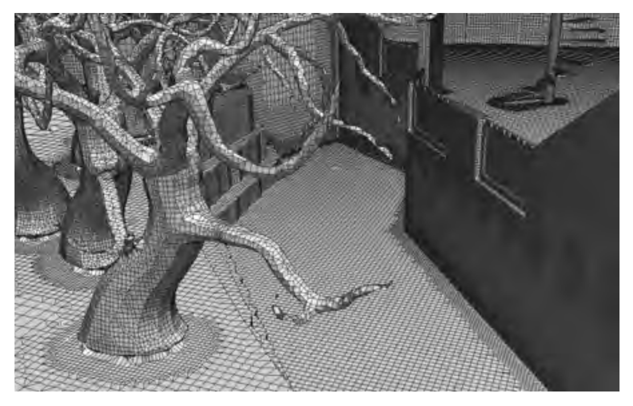


Abbildung 4: Vernetzung des Innengeheges

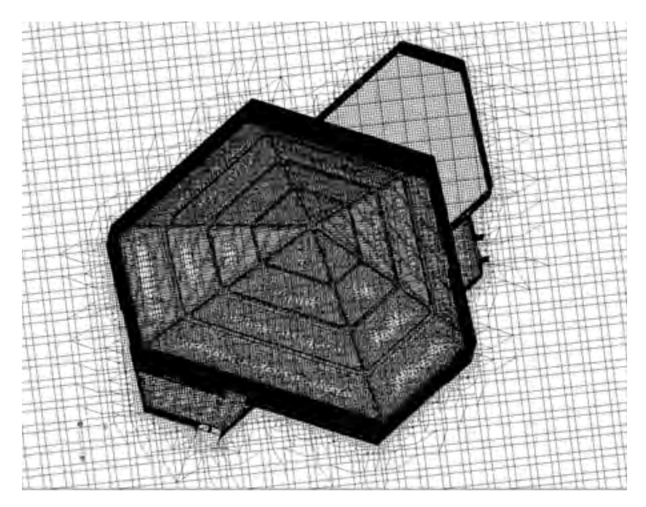


Abbildung 5: Vernetzung des Gebäudes

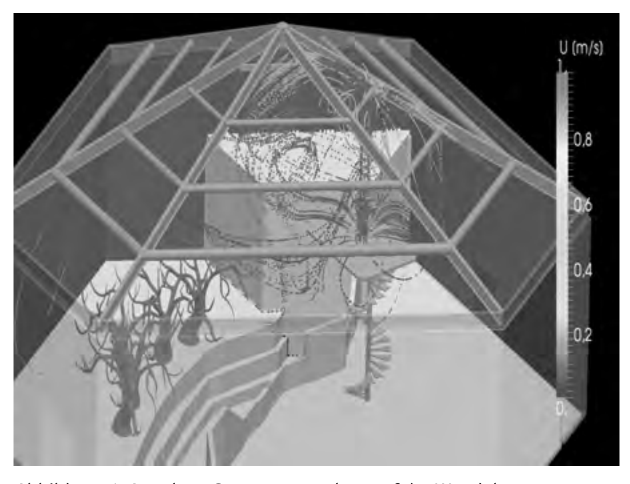


Abbildung 6: Annahme Strömungsauslass auf der Wendeltreppe



Abbildung 7: Nebelversuch auf der Wendeltreppe

neten Netzgitters. Ein einfaches Netzgenerierungstool für strukturierte Gitter ist schon in OpenFOAM integriert. Für die üblicherweise komplexeren Geometrien, die in der numerischen Strömungssimulation benötigt werden, ist dieses Tool kaum geeignet [Tia 09]. Bei der Diskretisierung des Rechengebietes wird das CFD Modell in Teilgebiete unterteilt. Dazu gibt es die Möglichkeiten der strukturierten oder unstrukturierten Netze. Diese Netzgenerierung braucht im Allgemeinen einen automatischen komplizierteren Netzgenerator. Ein erschaffenes Netzgitter ist entscheidend für die Qualität der Voraussage einer Simulation. Sind die lokalen adaptiven Verfeinerungen (angepasst an das Strömungsproblem) bestmöglich, so ergeben sich sehr kleine Diskretisierungsfehler bei der numerischen Lösung mit dem Solver. Ziel der Raumdiskretisierung ist es also, die Fehler so klein wie möglich zu halten. Das verwendete strukturierte Berechnungsnetz besteht aus ca. 3 Millionen Hexaeder-Kontrollvolumen, die sich an den dreidimensionalen Geometrieoberflächen anpassen. Die Geometrien können von einem CAD System kommen. CAD Systeme werden überwiegend in Ingenieurbüros angewendet. Mit dieser angewandten Technik konnte auf unstrukturierte Gitter verzichtet und somit die Rechenzeit der PC's deutlich reduziert werden. Diese Vernetzungstechnik bei komplexen Gebäuden für Sonderbauten ist einmalig.

Zusammenfassung

Die Strömungssimulationen sowie die Feldversuche vor Ort sind ein probates Mittel, um diese als innovative Methoden schon vorab während der Planung eines Gebäudes sowie bei der Sanierung und Einsparung von Energien einzusetzen. Der Betrieb von Fernwärmenetzen ist sorgfältig zu analysieren. Die Nutzungszeiten, die Anforderungen der unterschiedlichen Tiere und Nutzer erfordern eine flexible und anpassungsfähige Wärmeversorgung unter energetischen Aspekten.

Literatur

[DIN 95] DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung, Beuth Verlag, Berlin 1995.

[Tia 09] Tian, Thomas: Anwendung eines 6-DOF RANSE-Solver, Berlin, 2009.

[TIA 2010] Tian, De Villiers, Jackson, Campos, Schumacher: Climate control and HVAC simulation for occupied spaces, Engys Ltd.; London, 2010.

Kontakt

Prof. Dipl.-Ing. Katja Biek
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich IV Gebäude- und Energietechnik
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 2535
E-Mail: biek@beuth-hochschule.de

Biosensorik für eine Kunsthand

Dipl.-Ing. (FH) Dirk Naparty; Prof. Dr. Alfred Rozek
Kooperationspartner: alea technologies GmbH

Die Hand ist eines der wichtigsten Gliedmaßen der Menschen. Die Greif- und Haltefunktionen werden im Alltag am häufigsten genutzt. Im Rahmen des Projektes Forschungsassistenz wurden Lösungen erarbeitet, den Greifprozess mit einem mechanischen Handmodell nachzubilden. Dazu wurde ein Bildverarbeitungs-Algorithmus entwickelt, der zum visuellen Erfassen der Greifszene genutzt werden kann. Im weiteren Verlauf des Greifvorganges werden die Signale der Drucksensoren, die sich am Handmodell befinden, mittels Neuronaler Netzstruktur ausgewertet.

The hand is one of the main limbs of the human body. In particular, the gripping and holding functions are used most often in everyday life. During the project research assistant solutions have been developed to simulate the gripping process with a mechanical hand model. For that an image processing algorithm was developed that can be used to capture the gripping scene visually. Afterwards of the gripping process the pressure sensors signals, which are located on the hand model were analyzed using artificial neural network structure.

1. Einleitung

Der Mensch steuert seine Hand ohne direkte Erfassung der absoluten Positionsdaten seiner Finger. Er verlässt sich auf seinen Tastsinn und seine Erfahrung. Es ist nicht erforderlich, dass er das Objekt sehen kann. Die Erfahrung sammelt der Mensch im frühen Kindesalter. Dabei lernt er, Gewichte und Distanzen einzuschätzen. Das Greifen eines Gegenstandes wird zu einem selbstverständlichen Vorgang. Bei künstlichen Händen wird dieser Vorgang von den einzusetzenden Sensoren geprägt.

Den Schwerpunkt dieser Forschungsarbeit bilden die Analyse des haptischen Wahrnehmungsprozesses (Haptic Perception) beim Menschen und die Modellbildung zur Sensorsignalverarbeitung sowie die technische Umsetzung des biologischen Vorbilds in eine Kunsthand (siehe Abbildung 1).

2. Forschungsziel

Ziel des Projekts ist die Weiterentwicklung der bestehenden „Bionischen Hand“ hin zu einer fühlenden Hand. Das physische Bewegungsmodell soll hierzu mit taktilen Sensoren versehen werden.

Zur Datensignalverarbeitung ist ein Neuronales Netz vorgesehen, welches einerseits auf einem Multicore-Rechner und andererseits auf einem hochgradig parallel strukturierten FPGA-basierten System realisiert werden soll. Dabei kommt ein modernes datenflussorientiertes Programmierverfahren zum Einsatz, mit dem eine echtzeitfähige Signalverarbeitung auf einem Embedded System ermöglicht werden soll. Weitere Aufgaben sind die Entwicklung und Implementierung selbstlernender Verfahren zur Merkmalserkennung bzw. -unterscheidung von geometrischen Formen.

3. Das biologische Vorbild

Beim Greifen erfolgt zunächst eine grobe Vorpositionierung durch visuelle Erfassung der Szene. Die anschließende Feinregulierung erfolgt durch das vom Tastsinn erfasste Kontaktkraftprofil. Eine visuelle Führung ist nun nicht mehr möglich, da Finger und Hand einen Großteil des Greiffeldes verdecken. Dieser Vorgang wird als reaktives Greifen bezeichnet. Die taktile Rückkopplung ermöglicht ein „zerstörungsfreies“ Greifen [Wei 06].

3.1 Die Hand als Sensor

Die menschliche Hand verfügt über verschiedene Rezeptoren, um unterschiedliche Empfindungen wahrnehmen zu können. Dies wird im Allgemeinen als Tastsinn bezeichnet. Die Informationen des Tastsinnes werden im Gehirn verarbeitet (siehe 6. Neuronale Netze). So ist es



Abbildung 1: Arbeitsschritte im Projektverlauf



Abbildung 2: Darstellung des Greifvorganges

möglich, Gegenstände durch ihre Form, ihr Gewicht und ihrer Oberfläche zu unterscheiden.

Die für den Tastsinn relevanten Rezeptoren lassen sich auf Grund ihres Funktionsmusters in zwei Gruppen unterteilen:

· **langsam adaptierende Rezeptoren**
Diese Rezeptoren sind für die Druckempfindung verantwortlich und senden über die gesamte Stimulus Dauer ein Signal.
  · Merkel-Tastscheiben
  · Ruffini-Körperchen
  · Pinkus-Iggo-Tastscheiben

· **schnell adaptierende Rezeptoren**
Diese Rezeptoren sind für die Berührungsempfindung und Vibrationsempfindung zuständig und senden nur zu Beginn und am Abschluss des Stimulus ein Signal.
  · Meissner-Tastkörperchen
  · Haarfollikelsensor
  · Krause-Endkolben
  · Vater-Pacini-Körperchen
  · Golgi-Mazzoni-Körperchen

Wobei die letzten beiden Rezeptoren als sehr schnell adaptierend gelten und hauptsächlich für die Vibrationsempfindung zuständig sind.

Der Abstand der Hautsinnesorgane zueinander wird als Raumschwelle bezeichnet und variiert je nach Körperstelle. An den Fingerspitzen beträgt der Abstand ca. 2 mm, auf dem Rücken bis zu 10 cm [Lip 02].

3.2 Handmodell

Die Ausführung des mechanischen Handmodells erfolgte nach dem bionischen Prinzip; das bedeutet, das biologische Vorbild auf die technische Umsetzung zu übertragen. Alle Fingerglieder sind beweglich ausgeführt und die einzelnen Fingergelenke wurden funktional nachgebildet. Entsprechend dem menschlichen Vorbild befinden sich die Servo-Antriebsmotoren im Unterarmbereich, außerhalb der Handfläche. Die Kraftübertragung für die Beugung der Finger (Adduktion) erfolgt durch Bänder, die Streckbewegung (Abduktion) durch Federn [Sez 08].
Die Ansteuerung der Servomotoren erwies sich vor allem bei Präsentationen wie der „Langen Nacht der Wissenschaften“ als störanfällig. Seitdem diese Ansteuerung durch ein „Arduino“ Mikrocontroller-Board ersetzt wurde, ist diese zuverlässig [Ban 08].

4. Gestensteuerung

Eine Teilaufgabe des Projektes stellt die Ersterfassung eines Objektes auf optischem Weg mit einem kamerabasierten System dar. Entsprechend des menschlichen Vorbildes soll mit diesem Verfahren eine grobe Vorpositionierung der Kunsthand in Richtung des zu erfassenden Objektes erfolgen, um im Weiteren die genaue Erfassung mittels taktiler Sensoren zu realisieren (siehe Abbildung 2).

Die erforderlichen Grundlagen für die Entwicklung des Algorithmus wurden in Zusammenarbeit und mit dem Know-How der Firma alea technologies realisiert.
Für die Realisierung wurden eine Webcam und die Software LabVIEW von National Instruments mit dem Vision Development Module eingesetzt. Zuerst wird das Objekt, das zum Steuern genutzt werden soll, angelernt. Mit einer Kamera wird in dem Bereich vor einem Monitor nach dem Objekt gesucht. Die erfasste Fingerposition wird auf den Mauszeiger auf dem Bildschirm übertragen. Damit folgt der Mauszeiger auf dem Monitor proportional zu der Fingerbewegung vor dem Monitor.

Der erste praktische Einsatz dieses Arbeitspaketes wurde in dem Beitrag „Gesten-gesteuerte LabVIEW Bedienung“ realisiert, der im Begleitband zum 15. VIP-Kongress (Virtuelle Instrumente in der Praxis 2010) veröffentlicht wurde [RKN 10].

5. Der Sensor

Ein Sensor (lat. *sentire* = fühlen, empfinden) ist ein technisches Bauteil, das physikalische Eigenschaften in elektrische Signale umformen kann. Somit wird eine Weiterverarbeitung durch Rechnersysteme ermöglicht.
Sensoren, die den Fähigkeiten des menschlichen Tastsinnes entsprechen, werden als taktile Sensoren bezeichnet (lat. tactilis = berührend). Um Oberflächenstrukturen von Gegenständen vollständig erfassen zu können, ist es erforderlich, das Kontaktkraftprofil zu ermitteln.

Dafür hat sich eine Anordnung in Form einer regelmäßigen Matrix als besonders geeignet erwiesen. Diese Betrachtungsweise bringt den Vorteil, dass ein taktiler Sensor mit einem Bildaufnehmer verglichen werden kann und für die Weiterverarbeitung der Sensorsignale auch die verfügbaren Bildauswerte-Algorithmen angewendet werden.

Auf Grund der Matrix Anordnung wird die Auflösung dieser Sensoren in „Texel" angegeben (Texel = Messpunkt / cm²). Dieses Maß ist vergleichbar mit der Raumschwelle (siehe 3.1 Die Hand als Sensor).

Kraft- / Drucksensor
Die in dieser Arbeit genannten Kraftsensoren werden auch als Drucksensoren bezeichnet. Alle Sensoren arbeiten mit einem resistiven Messverfahren. Dabei bewirkt die aufgebrachte Kraft eine Widerstandsänderung. Nachdem der Sensor kalibriert wurde, lässt sich einem gemessenen Widerstandswert die entsprechende Kraft zuordnen.

Der Druck lässt sich aus dem Quotienten, der senkrecht aufgebrachten Kraft zu der Fläche auf die diese wirkt, ermitteln.

$$p = \frac{F}{A}$$

Abbildung 3: Formel des Drucks

$$1 \frac{N}{m^2} = 1 Pa$$

Abbildung 4: Einheit des Drucks

Die Abbildung 5 gibt einen Überblick der verschiedenen Sensoren, die im Weiteren detailliert beschrieben werden.

5.1 Sensor-Modell
Für die Entwicklung des Algorithmus´ für die Informationsverarbeitung mit der Software LabVIEW (siehe 7.1 Implementierung in LabVIEW) wurde eine Tastenmatrix in Verbindung mit einem Arduino Mikrocontroller verwendet (siehe Abbildung 6).

Der Controller übernimmt dabei die Ansteuerung der Tastenmatrix (4 x 4) und bereitet die Tastatureingaben für die Weiterverarbeitung in LabVIEW auf.

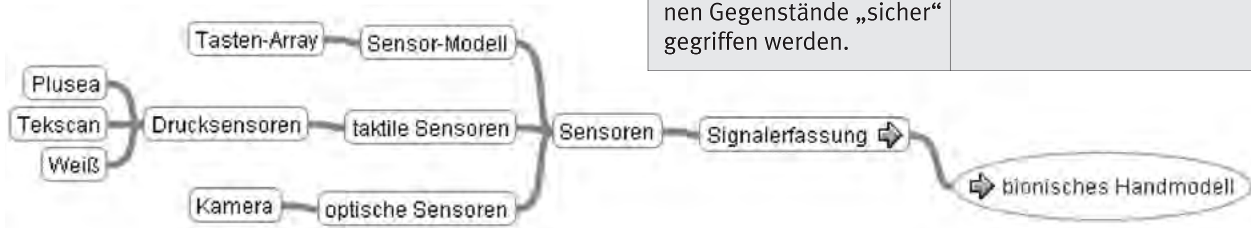


Abbildung 5: verschiedene Wege der Signalerfassung

Nach der Eingabe von vier verschiedenen Tasten erkennt der Controller das eingegebene Muster. Es können dabei die Kombinationen „Reihe", „Spalte" und „Vierer-Block" unterschieden werden.

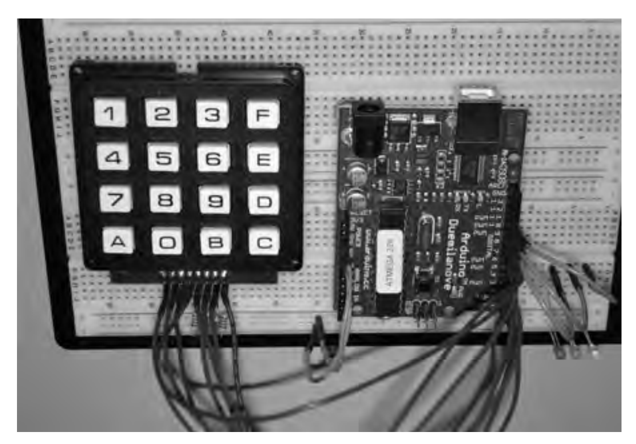


Abbildung 6: Sensor-Modell Tastenmatrix

5.2 Sensor Plusea
Die mit Kohlenstoff imprägnierten Polyolefin-Folien (z.B. VELOSTAT der Firma 3M) schützen empfindliche elektronische Bauteile vor elektrischer Aufladung. Aufgrund der Druckempfindlichkeit können aus ihr auch Drucksensoren hergestellt werden. Dazu wird die Folie zwischen zwei flexiblen isolierenden Stoffschichten platziert. Der elektrische Kontakt wird mit leitendem Nähgarn hergestellt.

Dieser Sensor reagiert auf Druck mit einer Verringerung des Widerstands. Idealerweise beträgt der Widerstand im Ruhezustand über 2 MΩ. Der Sensor besitzt ein nichtlineares Widerstandverhalten. Bei Berührung des Sensors mit dem Finger verringert sich der Widerstand bereits auf wenige Kiloohm. Wird der Sensor voll unter Druck gesetzt, sinkt der Wert auf etwa 200 Ω [Per I].

Vorteile	Nachteile
Dieser Sensor ist sehr einfach und preiswert herzustellen bei hoher Zuverlässigkeit, im Vergleich zu anderen Kraftsensoren.	Durch die handwerkliche Herstellung bedingt ist nur eine Auflösung von 2 cm (2,25 Texel) realisierbar.
Abhängig von dem verwendeten Material, können Gegenstände „sicher" gegriffen werden.	



Abbildung 7: Plusea Sensor am Handmodell

5.3 Sensor Tekscan
Tekscan nutzt für die Herstellung der hauchdünnen, flexiblen Sensoren ein Druckverfahren mit einem elektrisch leitfähigen Gemisch. Diese auf Kohlenstoff basierende Tinte wird in Zeilen auf der Oberseite der dünnen Sensoren und in Spalten auf der unteren Fläche gedruckt, so dass sich ein Gittermuster ergibt. Dadurch entstehen hunderte elektrischer Kontakte auf der gesamten Sensorfläche.

Zur Darstellung der Ergebnisse auf der Softwareoberfläche kann zwischen verschiedenen grafischen Darstellungen gewählt werden. Sie reagiert auf jede Veränderung des Drucks, der auf den Sensor wirkt, um so eine sofortige Rückmeldung des Messobjekts zu geben.

Eine Vielzahl von unterschiedlich geformten Sensoren sind erhältlich, einschließlich eines speziellen Handgriff-Sensors (siehe Abbildung 8). Dieser besteht aus einer Vielzahl kleiner Sensorflächen, die alle Bereiche der Hand erfassen können. Dieser Sensor kann entweder direkt auf der Hand fixiert, oder mittels eines Handschuhs adaptiert werden. Diese Art von Sensoren werden auch als Druckverteilungsmessystem bezeichnet.

Vorteile	Nachteile
Das Funktionsprinzip und die industrielle Fertigung ermöglichen eine räumliche Auflösung von 0,4 cm (12,25 Texel).	Technisch sehr aufwendiges, teureres Messsystem. Durch die Kunststofffolie auf der Oberseite der Sensoren ist es schwierig, Gegenstände sicher zu greifen.
nur 0,2 mm dünn	

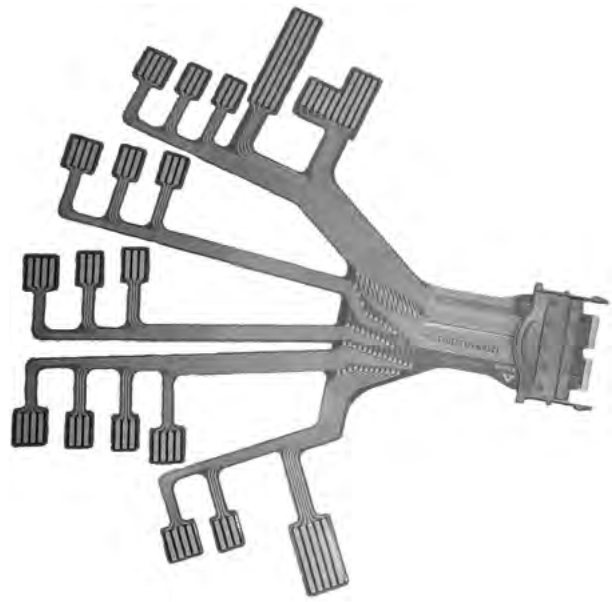


Abbildung 8: Tekscan Handgriff-Sensor



Abbildung 9: Tekscan Sensor mit Software

5.4 Sensor Weiß
Dieses Sensorsystem ist primär für den industriellen Einsatz konstruiert. Daher wurde auf eine robuste Ausführung und gute Servicefunktionalität großen Wert gelegt. Die Basis der wesentlichen Sensorkomponenten bildet die Abtastelektronik. Die Elektrodenmatrix in Noppenform ermöglicht die Detektion sowohl von senkrecht wirkenden Kräften als auch von Querkräften. Die charakteristischen Bestandteile bilden Elastomere, die durch Füllstoffe, wie technischen Rußen, die Sensoreigenschaften erhalten. Als äußere Schutzschicht wird eine Silikonabdeckung genutzt [Wei 06].

Vorteile	Nachteile
Das Funktionsprinzip und die industrielle Fertigung ermöglichen eine räumliche Auflösung bis zu 3,4 mm (15,53 Texel).	Technisch aufwendiges, teureres Messsystem.
Durch die Silikonabdeckung der Sensoren wird ein sicherer Griff der Gegenstände ermöglicht.	
Sehr robuste Ausführung, für industriellen Einsatz geeignet.	
Dieses Sensorsystem kann auch Querkräfte erfassen.	

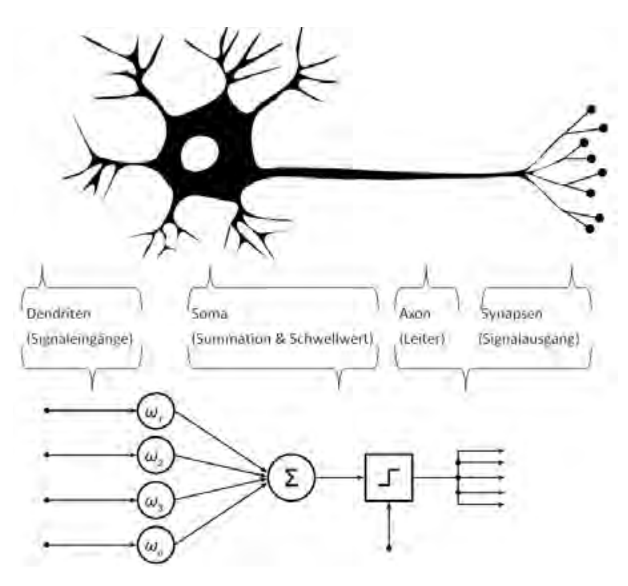


Abbildung 10: natürliches und vereinfachtes künstliches Neuron

6. Neuronale Netze

Neuronale Netze bilden die Struktur und Informationsarchitektur von Gehirn und Nervensystem der Menschen. Im menschlichen Gehirn befinden sich insgesamt etwa 10–100 Milliarden Nervenzellen (Neuronen). Die Neuronen sind in der Art eines Netzes miteinander verknüpft. Zwischen ihnen findet auf chemischem und elektrischem Weg ein Informationsaustausch statt.

6.1 Natürliches Neuron

Die „Schaltungstechnik" von Neuronen kennt üblicherweise mehrere Eingangsverbindungen sowie eine Ausgangsverbindung. Wenn die Summe der Eingangsreize einen gewissen Schwellenwert überschreitet, der wiederum von einer Inhibitor-Leitung beeinflusst sein kann, „feuert" das Neuron. Ein Aktionspotenzial wird an seinem Axonhügel ausgelöst und entlang des Axons weitergeleitet – das Ausgangssignal des Neurons. Die Verbindung der Neuronen untereinander erfolgt von den Synapsen zu den Dendriten. Die Entfernung vom Soma, an der die Synapsen an den Dendriten ankoppeln, hat einen Einfluss auf das Summationsergebnis und wird als Bias bezeichnet.

Neuronale Netze können dazu genutzt werden, wichtige geistige Fähigkeiten des Menschen wie das Lernen aus Beispielen, das Verallgemeinern von Beispielen, das Abstrahieren, das schnelle Erkennen und Vervollständigen komplizierter Muster, das assoziative Speichern und Abrufen von Informationen etc. nachzubilden und zu simulieren. Die Informationsverarbeitung im Gehirn erfolgt mit geringer Verarbeitungsgeschwindigkeit, aber mit einer hochgradig parallelen Struktur der Neuronen [NN I], [Sch 90].

6.2 Künstliches Neuron

Die Übertragung der Funktionsweise eines natürlichen Neurons auf ein technisches Modell erfolgte durch McCulloch und Pitts (1943) (siehe Abb. 10). Ihr Modell basiert auf einfachen logischen und arithmetischen Operationen [Sch 90]. Die technische Realisierung von neuronalen Netzen lässt sich in zwei Strukturen klassifizieren:

In einem Feed-Forward-Netz erfolgt die Informationsverarbeitung nacheinander von der Eingangs- bis zur Ausgangsschicht. Dieser Typ hat den Vorteil, dass es sich einfach technisch umsetzen lässt.

Das Feedback-Netz dagegen entspricht dem natürlichen Vorbild, weil eine Rückkopplung von der Ausgangs- zur Eingangsschicht erfolgen kann. Durch diese Realisierungsform lässt sich ein Lernprozess nachbilden.

Wie beim biologischen Vorbild müssen auch technische Neuronale Netze lernen.

Dabei unterscheidet man:

- **Lernen mit Unterweisung („überwacht")**
  Dabei wird dem Netz eine endliche Anzahl von Trainingsdaten gegeben. Diese Daten enthalten die Eingangswerte und die entsprechend erwarteten Ausgangswerte. Das Lernen geschieht dann durch Anpassen der Wichtungen und Schwellwerte der einzelnen Neuronen.

- **Lernen ohne Unterweisung**
  Es werden nur Eingangswerte als Trainingsdaten übergeben. Das neuronale Netz versucht selbstständig Gruppen ähnlicher Eingangsvektoren zu erkennen und diese auf ähnliche Neuronen abzubilden.

Der große Vorteil von neuronalen Netzen liegt darin, dass nicht feste Muster implementiert sind, sodass geringfügige Eingangsfehler toleriert werden können und auch dann noch brauchbare Ergebnisse im Ausführ-Modus liefern.

7. Simulator „MemBrain“

MemBrain ist ein leistungsstarker graphischer Neuronale Netze-Editor und -Simulator. Mit diesem Simulator wurden die Wichtungsfaktoren und die Bias-Werte der einzelnen Neuronen durch das überwachte Lernverfahren ermittelt.

Für die ersten Versuche wurde ein Feed-Forward-Netz gewählt. In dieser Netzstruktur werden alle Elemente einer Schicht mit der darauffolgenden Verbunden (siehe Abbildung 11).

Man erkennt in der oberen Reihe die Eingangsschicht, in der Mitte die verdeckte Schicht und unten die drei Ausgänge für „Spalte“, „Reihe“ und „Vierer-Block“ (siehe 5.1 Sensor-Modell).

Der Lernerfolg ist stark von den zufällig gewählten Anfangswerten abhängig. Der „Netzwerk-Fehler“ repräsentiert den Lernerfolg; wenn dieser Wert 0 wird, ist der Lernvorgang erfolgreich abgeschlossen.

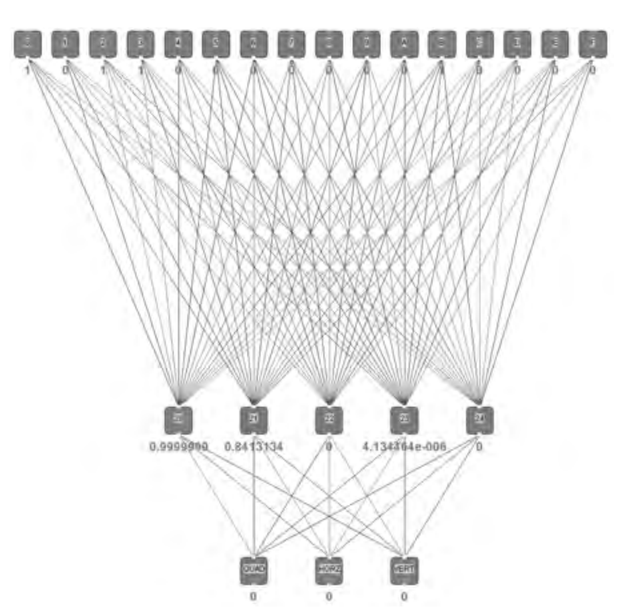


Abbildung 11: Neuronale Netze-Simulator „MemBrain“

In dem obigen Beispiel sind die Tasten „0, 2, 3, B“ der Tastenmatrix ausgewählt (siehe 5.1 Sensor-Modell). Das führt zur Aktivierung der beiden rechten Neuronen der versteckten Schicht. Die Ausgangsneuronen melden keine gültige Kombination.

7.1 Implementierung in LabVIEW

Für die Implementierung wurde mit LabVIEW eine graphische Programmiersprache gewählt, die nach dem Datenflussprinzip arbeitet, d.h. dass alle Operationen ausgeführt werden, deren Eingänge verfügbar sind (quasi parallel).

Der Vorteil von LabVIEW ist, dass man sowohl eine Implementierung für den PC-Einsatz als auch für einen Einsatz in digitaler Hardware (z. B. FPGA) durchführen kann.
Die 16 Eingänge befinden sich auf der linken Seite, sind aber der Übersichtlichkeit halber zusammengefasst (EingangsArray). Ebenso werden dort die Wichtungsfaktoren und die Bias-Werte eingelesen, die mit dem Simulator MemBrain ermittelt wurden (siehe 7. Simulator „MemBrain“). Im mittleren Bereich kann man den verdeckten Neuronen erkennen. Die Ausgangs-Neuronen befinden sich auf der rechten Seite (Abbildung 12).

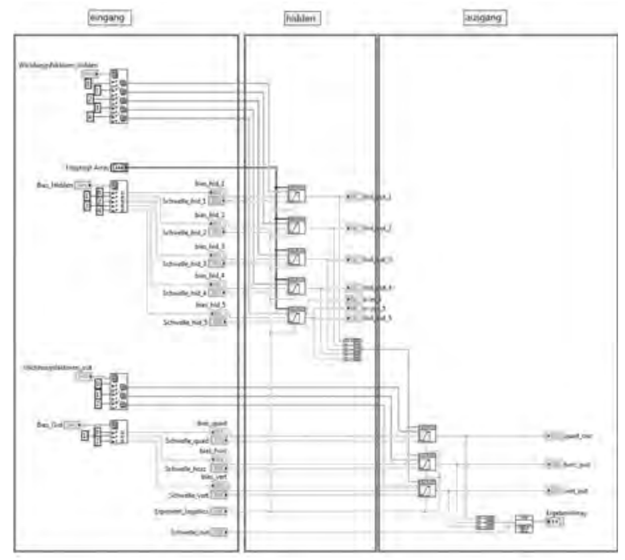


Abbildung 12: neuronales Netz implementiert mit LabVIEW

Die unterschiedlichen Farben repräsentieren unterschiedliche Datentypen. So stellt die orangene Farbe den Datentyp DOUBLE (Gleitkommazahl nach IEEE 754) dar.

7.2 Implementierung in LabVIEW-FPGA

Ein Field Programmable Gate Array (FPGA) ist ein vom Anwender konfigurierbarer Hardwarebaustein, der die Funktionen parallel abarbeiten kann. Der entsprechende Programmcode wird „echt“ parallel ausgeführt. Dadurch lassen sich die Strukturen des menschlichen Gehirns in diese Technik übertragen.

Die Programmstruktur, die auf dem PC entwickelt wurde, kann für die Implementierung in einen FPGA übernommen werden. Es werden keine Hardwarebeschreibungs-

sprachen (z. B. VHDL) oder Hardwaredesigns benötigt. Allerdings steht in dem LabVIEW-FPGA Module nur ein eingeschränkter Funktionsumfang zur Verfügung. Die auffälligste Änderung besteht in der Änderung des Datentyps. Im FPGA ist der Datentyp Double [orangene Farbe] nicht verfügbar. Die Double Datenwerte müssen auf einen Datenbereich übertragen werden, der einer Festkommazahl (Fixed-Point Datentyp [graue Farbe]) entspricht.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Kombination von Drucksensoren und der Informationsverarbeitung mit Neuronalen Netzen konnte der natürliche Greifprozess nachgebildet werden. Insbesondere der Einsatz eines parallel arbeitenden FPGAs zur Abarbeitung des Auswertealgorithmus entspricht dem biologischen Vorbild. Die momentan genutzten digitalen Schalter können nur eine Flächeninformation (2D) aufnehmen. Ziel ist aber eine Objekterkennung (3D); dafür sind entsprechende Sensoren auszuwählen. Um den natürlichen Greifvorgang komplett nachzubilden, wäre eine Erweiterung des Gesamtsystems mit einem optischen System für die grobe Vorpositionierung erforderlich.

Ein weiterer neuer Ansatz der parallelen Informationsverarbeitung bietet die Nutzung von Grafikprozessoren (GPU). Die GPUs sind hochgradig parallel strukturiert und ermöglichen so eine echt parallele Abarbeitung von Programmcode. Im Rahmen einer Masterarbeit wurden diese Möglichkeit erfolgreich eingesetzt [Paa 10].

Veröffentlichung

[RKN 10] Rozek Alfred; Kantharia, Mitunkumar; Naparty, Dirk: Gesten-gesteuerte LabVIEW Bedienung, in: Jamal, Rahman; Heinze, Ronald (Hrsg.): Virtuelle Instrumente in der Praxis 2010, VDE Verlag GmbH, S. 55 – 556.

Literatur

[Ban 08] Banzi, Massimo: Getting Started with Arduino, O'Reilly, 1. Auflage, 2008.

[Jet 10] Jetter, Thomas : MemBrain Neuronale Netze Editor und Simulator; Version 03.07.00.00 vom 05. Dez 2010, http://www.membrain-nn.de/index.htm [03.03.2011].

[Lip 02] Lippert, H.; Herbold, D.; Lippert-Burmester, W.: Anatomie, Urban & Fischer Verlag; 7. Auflage, München, 2002.

[Paa 10] Paasch, Marvin: Visual Studio Add-In zur Modellierung von Neuronalen Netzen mit GPGPU Unterstützung – unveröffentlichte Masterarbeit am FB VI der Beuth Hochschule für Technik Berlin, 2010.

[Sch 90] Schöneburg, Eberhard; Hansen, Nikolaus; Gawelcyk, Andreas: Neuronale Netzwerke, Markt & Technik Verlag, Haar bei München, 1990.

[Sez 08] Sezgin, Turgay; Rozek, Alfred: Forschungsassistenz IV, ISBN 978-3-938576-11-3, S. 87 – 90, Berlin, 2008.

[Wei 06] Weiß, Karsten: Ein ortsauflösendes taktiles Sensorsystem für Mehrfinger-Greifer, Logos Verlag, Berlin, 2006.

[NN I] Wikipedia : Neuronales Netz, http://de.wikipedia.org/wiki/Neuronale_Netze [03.03.2011]

[Per I] Perner-Wilson, Hannah: Pressure Sensor Matrix, 2006. http://www.plusea.at [03.03.2011].

Kontakt

Prof. Dr. Alfred Rozek
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI Technische Informatik
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 2364
E-Mail: rozek@beuth-hochschule.de

Kooperationspartner

alea technologies gmbh
Dipl.-Ing. (FH) Lars Hildebrandt
Tel: (0 33 28) 33 80 290
E-Mail: lars.hildebrandt@alea-technologies.de
http://www.alea-technologies.de

Entwicklung eines bistabilen Displays

Dipl.-Ing. (FH) Nenad Stokic; Prof. Dr. Joachim Rauchfuß
Kooperationspartner: AUCOTEAM

Das Projekt befasst sich mit der Entwicklung einer Beispielanwendung eines bistabilen Displays unter Verwendung einer elektrophoretischen Folie. Diese Folie zeichnet sich durch eine energiefreie Darstellung der Information aus. Lediglich zum Beschreiben der Folie wird Energie benötigt.

The project deals with developing a sample application of a bistable display using a electrophoretic foil. This foil is characterized by an energy-free presentation of the information. Energy is only required to write on the foil.

1 Einleitung

Die Realisierung von bistabilen Displays, also Anzeigen, die auch ohne Energiezufuhr ihre Informationen darstellen, ist ein Feld intensiver Forschung. Der Bedarf an e-Readern (electronic paper, Elektronisches Buch, Elektronische Zeitung) als auch der Zwang, den Energieverbrauch von unterschiedlichen Lösungen zu minimieren, beschleunigen die Entwicklung. Der Aufbau eines solchen Displays besteht aus einer strukturierten, kontaktierten Unterlage, auf der die E-INK-Folie laminiert wird, einer Ansteuerschaltung mit Controller und Schnittstelle. Zum Einschreiben der Information wird eine Energieversorgung benötigt, um den Controller und die Ansteuerung zu betreiben. Ist die Information mit dem speziellen Ansteuerprogramm eingetragen, kann die Energieversorgung abgeschaltet werden. Für die Ansteuerung des Displays wird ein Displaytreiber der Firma Dialog Semiconductor verwendet. Dieser besitzt 64 Ausgänge und eine Ladungspumpe, die eine Ansteuerspannung von 15 Volt generieren kann, bei einer Betriebsspannung von 1,8 Volt. Für die Ansteuerung des Displaytreibers wird ein Mikrocontroller verwendet von der Firma Texas Instruments. Dieser wiederum ist programmierbar über ein USI-Interface, das SPI oder I2C unterstützt.

Displayansteuerung

Mikrocontroller

Schnittstelle

Bild 1: Schematische Darstellung der Grundkomponenten

2 Hauptteil

Aufbau der E-Ink-Folie:

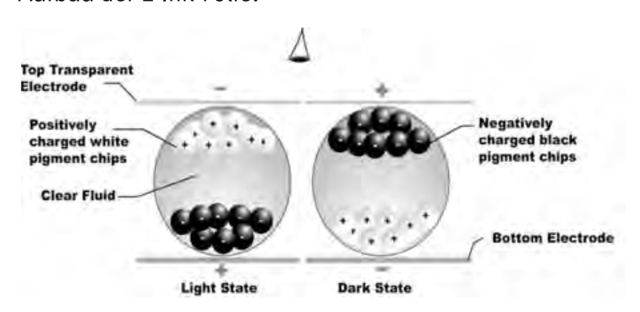


Bild 2: Funktionsweise E-Ink [Quelle: www.eink.com]

Die E-Ink-Folie besteht aus Millionen von Mikrokapseln, die einen Durchmesser von ca. 100 µm besitzen. In jeder dieser Kapseln befinden sich schwimmend in einer klaren Suspension positiv geladene weiße und negativ geladene schwarze Teilchen. Durch das Anlegen eines negativ geladenen elektrischen Feldes an der E-Ink Oberfläche, wandern die weißen Teilchen zu dieser. Für den Betrachter wird die Farbe weiß sichtbar. Im selben Augenblick wandern die negativ geladenen schwarzen Teilchen an die Unterseite der E-Ink-Folie, die dann nicht mehr sichtbar sind.

Durch die Umkehrung des elektrischen Feldes, lagern sich die schwarzen Teilchen an der Oberfläche an, das für den Betrachter als schwarz sichtbar wird und die weißen an der Unterseite, die dann nicht mehr sichtbar sind. Durch diese mechanische Eigenschaft ist eine dauerhafte Darstellung der Informationen gegeben, die keine zusätzliche Energieversorgung benötigt.

Die „Elektrophorese“ ist eine elektrokinetische Erscheinung. Darunter versteht man die Wanderung dispergierter geladener Partikel in einem flüssigen Medium, das sich in einem elektrischen Feld befindet. Dabei wandern die positiv geladenen Teilchen zur Kathode und die negativen zur Anode. Ferdinand Friedrich von Reuss beobachtete erstmals im Jahre 1807 unter dem Mikroskop die Wanderung von im Wasser suspendierten Tonpartikel.

Die ersten Realisierungen des bistabilen Displays wurden mit einfachen Strukturen, die mit einem Fräs-Bohr-Plotter hergestellt wurden (Bild 3), geschaffen. Damit konnten die ersten Versuche zur Laminierung und der Ansteuerprogramme durchgeführt werden.

In Bild 3 ist eine einseitige kupferkaschierte Leiterplatte dargestellt. Mittels eines Fräsbohrplotters wurde eine Segment-Struktur aus der Kupferfläche der Leiterplatte herausgefräst.

Fast jede beliebig erzeugte Struktur auf der Leiterplatte ist auf der E-Ink-Folie darstellbar.

Aufgrund von Einschränkungen in der Leiterplattenfertigung, hinsichtlich der Durchkontaktierung von Bohrungen, können Strukturen unter 100 µm nicht realisiert werden.

In Bild 4 ist eine mit E-Ink laminierte Leiterplatte zu sehen. Mit Hilfe eines Laminators wird die E-Ink-Folie auf die Leiterplatte auflaminiert (Bild 5). Durch den Aufbau

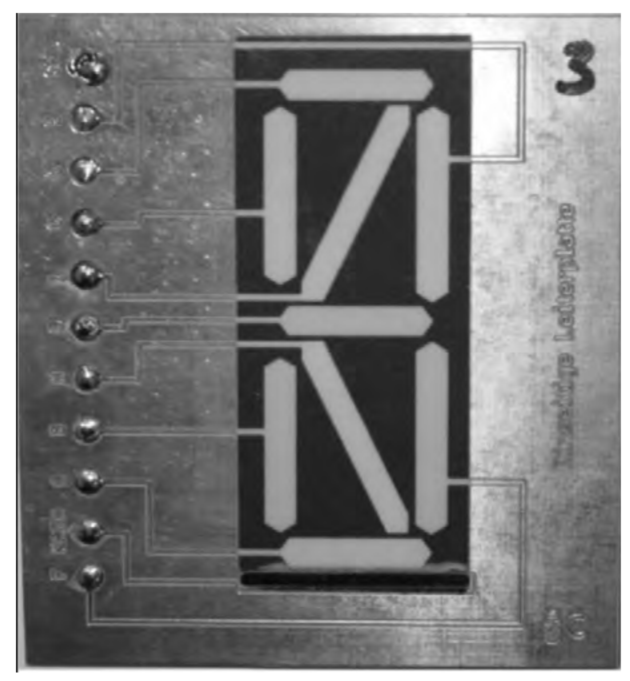


Bild 3: Strukturierte Leiterplatte

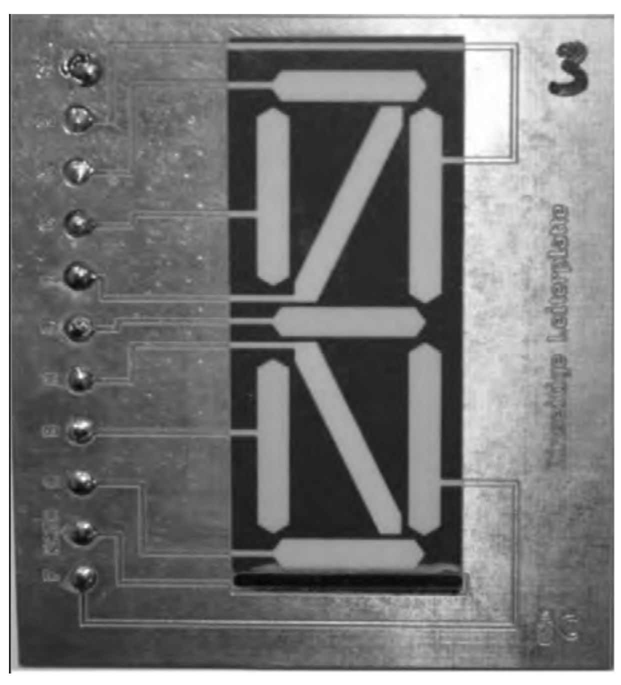


Bild 4: Laminierte Leiterplatte

eines elektrischen Feldes zwischen den Segmenten und der oberen Kontaktierung der E-Ink-Folie, wird die Wanderung der Teilchen bewirkt.

Bei der Heisslamination wird die E-Ink-Folie unter Einhaltung bestimmter Prozessparameter (Temperatur, Anpressdruck und Verfahrgeschwindigkeit auf die Leiterplatte geklebt. Die mit E-Ink bestückte Leiterplatte wird durch zwei beheizte Walzen im Laminator hindurchgeschoben (siehe Abb. 5). Dadurch erfolgt die Kontaktierung zwischen der E-Ink-Folie und der Leiterplatte sowie dem Leitkleber zwischen dem E-Ink-Toplayer und der Leiterplatte.

In einer nächsten Stufe wurde eine HDI-Multilayer-Leiterplatte (High-Density-Interconnect) für eine 4-stellige 14-segmentige Anzeige geschaffen. In Bild 7 ist eine mit

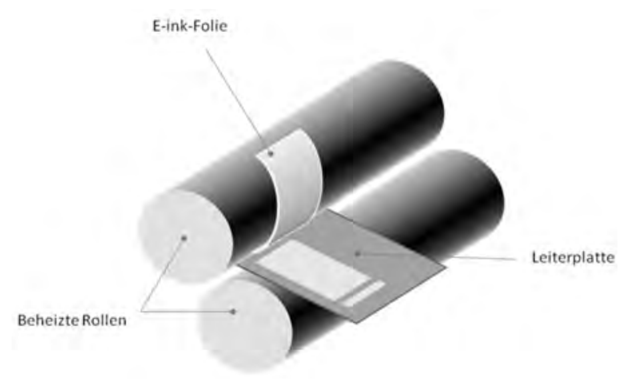


Bild 5: Heisslamination

E-ink laminierte HDI-Multilayer-Leiterplatte dargestellt. Die Segmente werden durch einen Displaytreiber angesteuert. Über eine integrierte Ladungspumpe wird aus der Betriebsspannung (1,8 Volt) eine Ansteuerspannung von 15 Volt generiert.

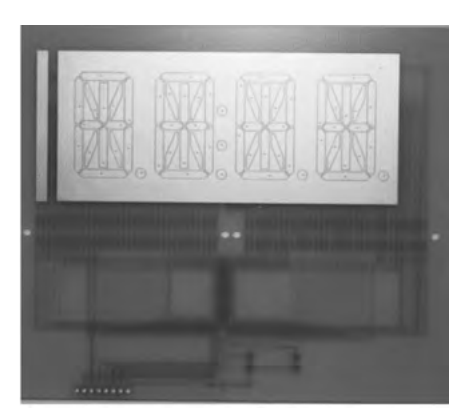


Bild 6: Strukturierte HDI-Leiterplatte



Bild 7: Laminierte HDI-Leiterplatte

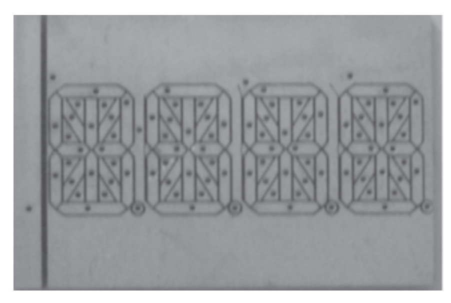


Bild 8: Kleines Display (Maße 16 x 24 mm)

In einem weiteren Schritt wurde eine kleinere Displayanzeige (siehe Bild 8, 4-stellige Displayanzeige, Maße: 24 mm x 16 mm) geschaffen und eigenständig laminiert.

Für die Laminierung der E-Ink-Folie auf die Leiterplatte mussten Vorbereitungen getroffen werden. Als erstes musste die Oberfläche der Leiterplatte mit Aceton gereinigt werden. Es dauert einige Minuten bis das Aceton vollständig verdampft ist. Als nächstes wurde der doppelseitige Leitkleber auf die Leiterplatte aufgetragen, um die Kontaktierung des Toplayers zu ermöglichen. Anschließend wurde mit Isopropanol der Toplayer freigelegt. Für das bessere Handling beim Laminieren der Proben wurde eine Leiterplattenaufnahme (Bild 9) realisiert.



Bild 9: Leiterplattenaufnahme

In Bild 10 ist eine mit E-Ink laminierte Display-Leiterplatte abgebildet. Umrandet sind die fehlerhaften Bereiche, die beim Heiss-Laminieren unter Verwendeung falscher Prozessparametrer aufgetreten sind. In einem umfangreichen Testdurchlauf wurden die optimalen Einstellungen der Prozessparameter für die Heißlamination ermittelt. In Bild 11 ist ein fehlerfreies Display dargestellt.

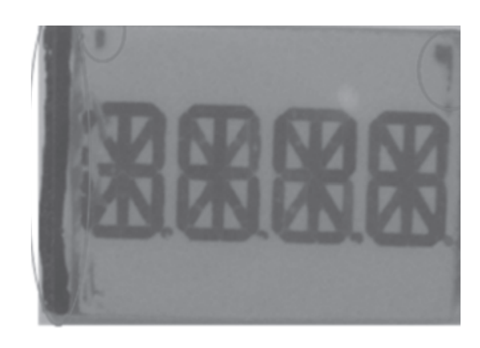


Bild 10: Laminiertes Display Probe 1

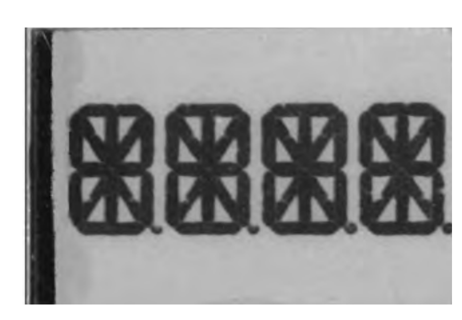


Bild 11: Laminiertes Display Probe 2

Zur langen Nacht der Wissenschaften an der Beuth Hochschule für Technik Berlin wurde ein Beuth-Schriftzug entworfen (Bild 12), welcher durch eine geeignete Mikrocontrolleransteuerung die Schrift- und Hintergrundfarben permanent zwischen schwarz und weiß wechselte.

Als nächster Schritt wäre die Realisierung eines zweizeiligen Namensschildes geplant. In Bild 13 ist der erste Entwurf dargestellt.



Bild 12: Laminiertes Display Probe 1

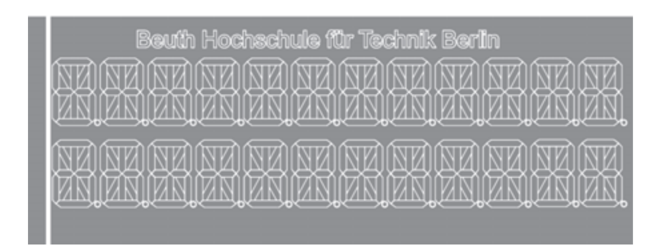


Bild 13: Zweizeiliges Namensschild

3 Zusammenfassung

Wir haben uns mit der Entwicklung von einfachen sieben oder vierzehn Segmenten-Anzeigen beschäftigt. Dazu mussten Segmentstrukturen entwickelt werden, die mit der notwendigen Kontaktierung und in kleineren Dimensionen technologisch realisiert werden können. Ebenfalls war es notwendig, die optimalen Prozessparameter für die Laminierung der Displays mit der elektrophoretischen Folie zu ermitteln. Dazu wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt.

Es ist uns gelungen, prototypische Beispielanwendungen für bistabile Displays zu entwickeln.

Kontakt

Prof. Dr. Joachim Rauchfuß
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VI Technische Informatik, Verteilte Systeme
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 2506
E-Mail: rafu@beuth-hochschule.de

Wissensbasierte Projektplanung mit dem Wissensstrukturplan

Thomas Sakschewski; Prof. Dipl.-Ing. Siegfried Paul
Kooperationspartner: Klingler GmbH

Gegenstand der Forschung ist die Entwicklung eines wissensbasierten Projektstrukturplans (WSP) als Instrument zur Planung und Steuerung des Wissenstransfers und Monitorings bei der Planung und Organisation von Veranstaltungen. Das Vorhaben zielt auf die Entwicklung von Werkzeugen zur Analyse und Interpretation von Planungsprozessen als Wissensprozesse und die Einbindung bestehender Wissensnetzwerke und Wissensgemeinschaften in das Veranstaltungsmanagement. Zur effektiveren Verflechtung von Projektplanung und Wissensmanagement wird dafür der Projektstrukturplan als operatives Planungswerkzeug zwischen Wissensnetzwerk und Skill Map fortentwickelt.

The project develops a knowledge based working break down structure for usage as eventmanagement tool for monitoring and knowledge transfer. Therewith planning processes may be analyzed, redefined as knowledge relevant processes and connected to existing competence networks and comunities of practice. The knowledge based working break down structure is able to link on an operative level a wiki based knowledge network with a skill-map and the needs of the event industries.

1. Einleitung

Die Erfassung der notwendigen und die Weitergabe der wichtigsten Informationen entscheiden über Erfolg und Misserfolg einer Veranstaltung. Das Verständnis für eine strukturierte und somit replizierbare Methode der Informationserfassung und -weitergabe, als Grundlage eines Wissensmanagements steht in der Veranstaltungsbranche jedoch erst am Anfang. Zeitmangel, die Zwänge des Projektgeschäfts, der hohe Anteil an implizitem Wissen, mangelndes Prozesswissen oder die fehlende Integration von Lösungsmöglichkeiten im Web 2.0 sind da nur einige Gründe; es fehlt ein Instrument, das die besonderen Anforderungen der Branche berücksichtigt.

Der Beitrag veranschaulicht an Hand der Barrieren und Hindernisse bei der Einführung eines Wissensmanagements, die für den Informationsfluss relevanten Faktoren der Veranstaltungsbranche. Hierbei wird gezeigt, dass gerade die offene, netzwerkorientierte Struktur mit einem hohen Anteil an externen Mitarbeitern, die Methodenfrage für ein Wissensmanagement in besonderem Maße aufwirft. In einer kritischen Auseinandersetzung wird überprüft, inwieweit die nahe liegende Lösung eines Unternehmenswikis umsetzbar ist, und wie durch eine Kompetenzorientierung Gefahren bei der Einführung eines Wikis als betriebliches Wissensmanagementsystems verringert werden können. Im letzten Schritt wird erörtert, wie durch Erweiterung um kompetenzorientierte Informationen ein Standardinstrument des Projektmanagements, der Projektstrukturplan, für eine wissensbasierte Projektplanung genutzt werden kann.

2. Methode und Ergebnis

Nach einer breit angelegten Literaturrecherche aus den Bereichen Netzwerktheorie, Organisationslehre und Wissensmanagement konnten zentrale Begriffe isoliert werden und nach eingehender Erörterung in Bezug auf die besonderen Erfordernisse der Veranstaltungsbranche kontextualisiert werden. Parallel dazu wurde im Vergleich zu bestehenden Modellen und Lösungsansätzen ein einheitliches Modell für Wissensmanagement in der Veranstaltungsbranche entwickelt und dieses durch Expertengespräche evaluiert. Die notwendigen organisationalen und technischen Anforderungen zur Einführung eines Wissensstrukturplans als ein im Wissensmanagementprozessen integriertes Instrument des Wissenstransfers, konnten sodann zusammengefasst werden. Als Ergebnis liegt somit ein branchenspezifisches Lösungsmodell für die Weitergabe von Wissen in der Veranstaltungsbranche vor. Das methodische Konzept wäre in einem nächsten Schritt im Praxistest zu überprüfen, wofür die im Forschungsprojekt bereits definierten Schnittstellen zwischen den einzelnen Bestandteilen Wiki, Skill-Map und Wissensstrukturplan programmiert und unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche zusammengeführt werden müssen.

3. Barrieren bei der Einführung eines Wissensmanagements

Die Beschäftigungsverhältnisse in der Veranstaltungsbranche sind häufig zeitlich begrenzt, projektbezogen und beinhalten ein definiertes Werk. Die Akteure bedienen sich zumeist einer Organisationsform, die heterarchisch und wenig distinktiv ist. Unternehmensgrenzen

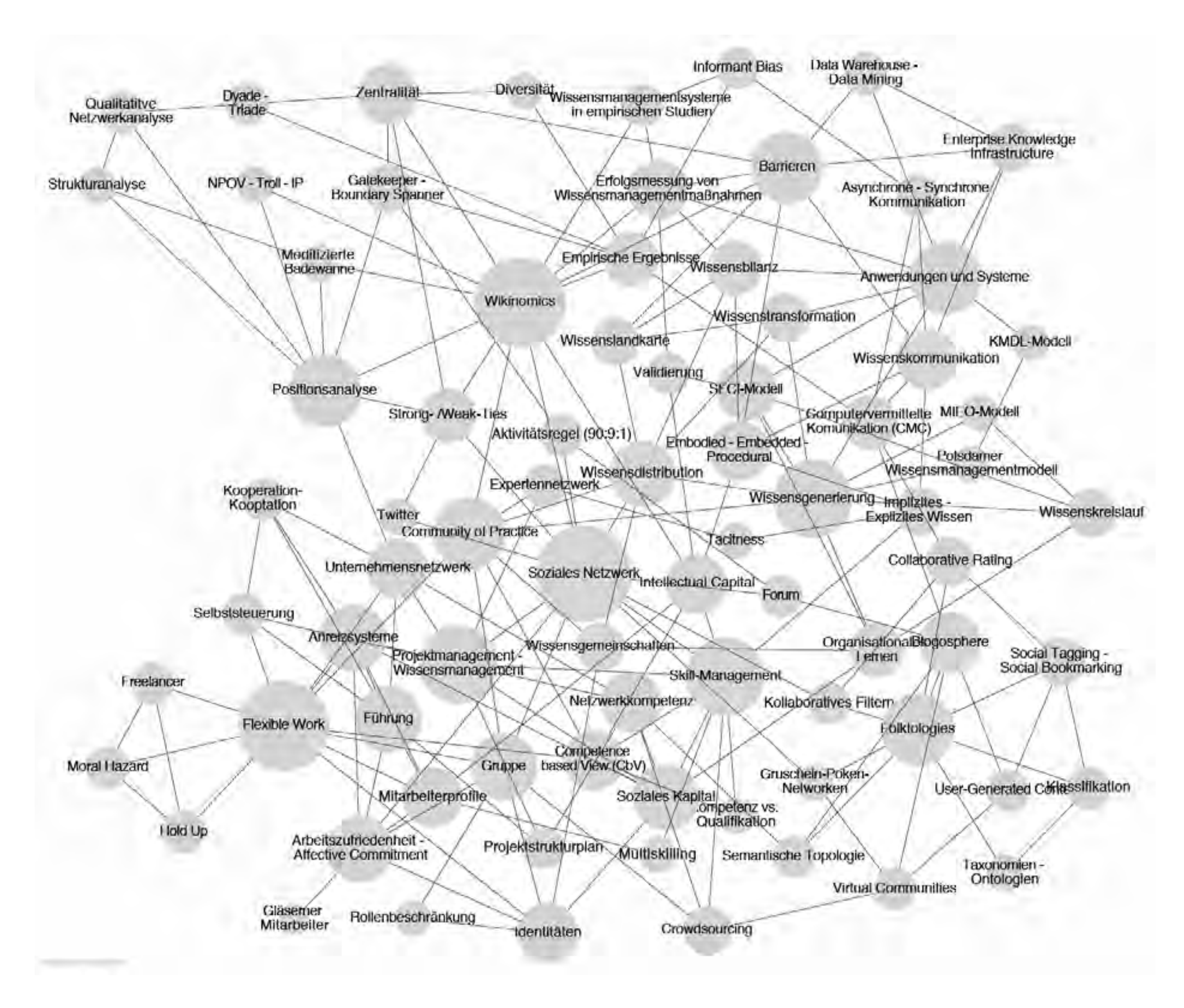


Abbildung 1: Netzwerkdarstellung der für das Forschungsgebiet relevanten Begriffe (eigene Darstellung).

sind fließend. Arbeitszeiten, Leistungserwartung und Zeitdruck führen zu stark unterschiedlichen inter- und intraindividuellen Belastungen. Erfahrungswissen wird nicht oder nur sehr unzureichend im Projektverlauf erfasst und kaum über den Projektabschluss hinweg dokumentiert. Diese branchenspezifischen Besonderheiten stellen Barrieren im Wissenstransfer dar. Trotz sehr unterschiedlicher Ansätze zur Klassifizierung der Barrieren [RUM 01; BAR 00; BUL 98] ergibt sich eine große Dekkungsgleichheit verschiedener Ansätze der Einordnung von Barrieren in die drei größeren Klassen: Technik, Organisation und Mensch.

3.1 Technische, organisationale und menschliche Barrieren
Die Informations- und Kommunikationstechnik bilden die Grundlage technischer Barrieren. Am bedeutendsten ist dabei der Mangel an Benutzerfreundlichkeit, der sich vor allem in einer ungenügenden Benutzeroberfläche äußert. Weiterhin können ein Ruf von Instabilität des Systems und unzuverlässige Software, lange Antwortzeiten, eine erzwungene Einführung, unangemessener Support und mangelnde Schulung, Liefermängel und die Abwesenheit von Zusatznutzen die Nutzung von technischen Wissensmanagementlösungen behindern.

Eine Gefahr für den Erfolg von Wissensmanagementaktivitäten liegt darin, dass viele Projektverantwortliche für Wissensmanagement aus dem Bereich Informationstechnologie entstammen und beim Wissensmanagement einseitig den Einsatz von Informationstechnologie betonen. Auch der Einsatz ausgereifter IT-Lösungen im falschen Kontext, d.h. ohne Berücksichtigung verhaltenswissenschaftlicher Erkenntnisse, und die Tatsache, dass Organisationen ihre IT-Strategie nicht im Sinne des Wissensmanagements formulieren, können Probleme verursachen. Außerdem ist eine unzureichende Akzeptanz der techni-

schen Systeme seitens der Mitarbeiter ein kritischer Faktor.

Ein besonderer Faktor von KMUs aus der Veranstaltungsbranche ist ein geringes Investitionspotenzial. Dieses wird aus Zeit- und Ressourcengründen ungern für umfangreiche Einführungs- und Schulungsmaßnahmen ausgegeben. Ein noch größeres Gewicht hat die geringe Planbarkeit und damit schwierige Abbildung von Standardprozessen. Prozessmodelle sind zwar grundsätzlich für die Planung, Steuerung und Kontrolle hilfreich, die Erstellung aber ist mit einem enormen Aufwand verbunden, da im Grunde für jedes Projekt ein Großteil der Prozesse neu modelliert werden muss [FÜN 02].

Böhl [BÖH 01] unterteilt die organisationalen Barrieren in Hemmnisse des horizontalen und des vertikalen Informationsflusses. Folgen wir dieser Unterteilung lassen sich im horizontalen Informationsfluss drei Barrieren ausmachen: Arbeitsteiligkeit, informelle Machtpositionen und Fluktuation. Arbeitsteilige Strukturen, die prinzipiell notwendig sind, behindern den Überblick über das gesamte Vorhaben und vermehren den Kommunikationsaufwand an den Schnittstellen zwischen den Abteilungen. Andererseits lassen sich hier die als personenorientierte Barrieren beschriebenen Phänomene des Gruppenzusammenhalt, des Group Thinkings, mit dem Ergebnis der gezielten Sicherung eines Informationsvorsprungs, auch auf Arbeitsgruppen und Abteilungen übertragen. Informelle Machtpositionen ergeben sich aus diesem Prozess und lassen sich durch die Ansätze der Netzwerktheorie zwar genau beschreiben, aber kaum verhindern. In der Veranstaltungsbranche sind die Bedingungen zur Entstehung derartiger Machtpositionen besonders günstig, da gerade hier Mitarbeiter häufig alleine mit einer Aufgabe betraut werden. Damit besteht die Gefahr von Wissensverlusten durch Weggang von Mitarbeitern. Als Barrieren im vertikalen Informationsfluss können Angst vor Sanktionen, Fehlervertuschung, Bevormundung der Mitarbeiter, Verschwiegenheit und Frustration genannt werden [BÖH 01]. Gerade die enge und sehr häufig persönliche Beziehung zur (nächst)höheren Führungsebene befördern das bewusste Zurückhalten von Informationen und die Fehlervertuschung. Gleichzeitig bedingt die geringe Personalstärke und eine zumeist flache Hierarchie in der Veranstaltungsbranche eine sehr begrenzte Aufstiegsmöglichkeit.

Das komplette implizite Wissen kann auch bei höchstem Aufwand nicht expliziert werden [PRO 06]. Der Charakter eines personengebundene Wissen stellt eine personale Barriere dar. Personengebundenes Wissen lässt sich in zwei große Bereiche gliedern: Der eine Teil besteht aus dem Wissen, welches zumeist sprachlich zugänglich ist und anderen Personen vermittelt werden kann. Dieses deklarative oder explizite Wissen kann prinzipiell externalisiert werden, jedoch muss zum einen der Wissensträger zunächst zur Externalisierung motiviert werden. Zum anderen fällt es dem Wissensträger schwer oder ist im schlimmsten Fall gar nicht in der Lage, das externalisierte Wissen auch so aufzubereiten, dass es für andere verständlich ist. Zudem ist sich ein Wissensträger eventuell gar nicht bewusst, dass Teile seines Wissens für andere nützlich oder hilfreich sein könnten. Der andere große Teil des personengebundenen Wissens ist das Wissen über Fertigkeiten, auch als prozedurales oder implizites Wissen, verstecktes oder unterbewusstes Wissen bezeichnet. Es ist nicht sprachlich zugänglich. Der Wissensträger verfügt also über mehr Wissen, als er fähig ist mitzuteilen [ROE 00; PRO 06]. Erfahrungswissen zu externalisieren, stellt daher eine besonders schwer zu beeinflussende Barriere für die Einführung eines Wissensmanagements dar. Wer sein Wissen teilt, verliert an Macht, denn er gibt damit die Exklusivität der Entscheidungs- und Handlungsmöglichkeiten auf. Auf diese Exklusivität des Wissens oder zumindest das Wissensungleichgewicht beruhen Status und Prestige der Mitarbeiter [DIS 00]. In der erfahrungsorientierten Veranstaltungsbranche, in der viele Aufgaben individuell aufgrund von einmal gemachten Lernprozessen gelöst werden, gilt dies in besonderem Maße, denn kleine, mittelständische und insbesondere Kleinstbetriebe sind strukturell durch ein an Personen gebundenes Wissen geprägt. Dieses gebündelte, implizite Wissen wird weitestgehend nicht kommuniziert, und ist kaum direkt beschreibbar.

3.2. Bedeutung externer Kräfte

Die Risiken der Arbeit mit externen Mitarbeitern sind unterschiedlich verteilt. Einerseits riskiert der freie Mitarbeiter eine einseitige Abhängigkeit von einem einzelnen Auftraggeber (Prinzipal), anderseits kann der Auftraggeber in noch größerem Maße als bei abhängig Beschäftigten von einer Differenz zwischen unternehmerischen und individuellen Interessen ausgehen. Die Ausnutzung des Informationsvorsprungs durch den Agenten (Auftragnehmer), bei der er sein opportunistisches Verhalten während der Leistungserstellung nicht offenbart, wird Moral Hazard genannt [KAI 07; SCH 03].

Eine 100-prozentige Deckung der Interessen von Beschäftigten und Unternehmen kann es nicht geben, doch die Annahme ist berechtigt, dass bei externen Kräften der Interessensdivergenz größer ist als bei abhängig Beschäftigten. Daraus resultierende hidden actions müssen

nicht auf amoralisches Verhalten beruhen, wie es der Begriff des Moral Hazard nahe legt, sondern kann situativ begründet sein, wenn z.B. eine Qualität oder ein Leistungsumfang vereinbart war, aber bei der Umsetzung erkennbar ist, dass der vereinbarte Leistungsumfang für den geplanten Zweck unnötig ist oder sich der Agent als Auftragnehmer durch den Prinzipal als Auftraggeber bereits durch den Werkvertrag übervorteilt fühlt.

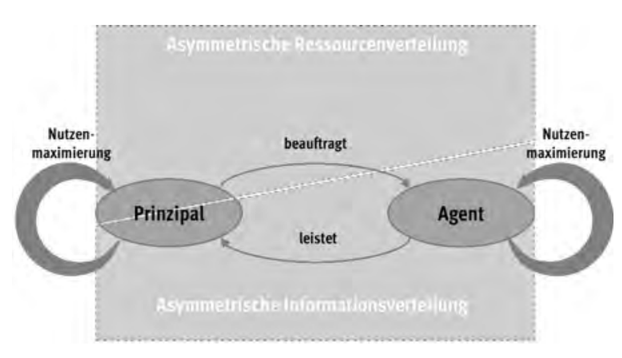


Abbildung 2: Informationsasymmetrie im Verhältnis Auftraggeber und Auftragnehmer (eigene Darstellung).

Unter Berücksichtigung dieses Informationsungleichgewichts muss als besondere Barriere für einen Wissenstransfer die Rolle der externen Mitarbeiter berücksichtigt werden, denn die Veranstaltungsbranche ist geprägt von einem hohen Anteil selbstverantwortlicher, selbstorganisierter Arbeit. Das neue arbeitsorganisatorische Leitbild des unternehmerischen Subjekts, des Intrapreneurs oder Arbeitnehmers mit „entrepreneurial spirit“ [RAS 06] ist hier schon lange gelebte Wirklichkeit. Dies ist Folge zahlreicher Faktoren wie wechselnde Einsatzorte, flache Hierarchien bei großer eigener Verantwortung, variierende Kooperationspartner, Arbeit im Team oder geringer Anteil an expliziten Anweisungen oder Arbeitsplatzbeschreibungen. Man darf nicht vernachlässigen, dass dieses „Intrapreneurship“ auch stärkeren Druck bedeutet, da unternehmerische Zwänge auf das Individuum übertragen werden. Doch ist der grundsätzliche Vorteil der vermehrten Freiheit kaum zu überschätzen. Die Instrumente zur Durchsetzung von Direktiven und zur Kontrolle sind daher komplexer als in einem Beschäftigungsverhältnis mit Weisungsbefugnis und den damit verbundenen Disziplinierungsmöglichkeiten. Ein transparenter, zielorientierter Führungsstil mit vorab festgelegter Abgabe von Zwischenergebnisse und Kontrollen ist hier sinnvoll.

4. Betriebsinterner Wiki als Instrument des Wissensmanagements

Wegen der Besonderheiten der Veranstaltungsbranche und dem hohen Grad an flexiblen Beschäftigungsverhältnissen bietet sich ein betriebsinterner Wiki als Instrument des Wissensmanagements an, doch müssen hierbei dieselben Barrieren berücksichtigt werden, wie bei anderen Instrumenten. Daher empfiehlt sich die Ergänzung eines Wikis um operative (Wissensstrukturplan) und strategische Werkzeuge (Skill Map).

4.1. Probleme betrieblicher Wikis

Bei der Einführung eines Unternehmenswikis als Instrument für Wissensmanagement im Betrieb müssen einige wesentliche Unterschiede zwischen Wikipedia und einem Unternehmenswiki berücksichtigt werden. Ein grundlegender Widerspruch besteht im partizipatorischen Selbstverständnis eines Wikis. Während die technologische Plattform von Wikipedia entwickelt wurde, um die weltweit größte frei zugängliche Online Enzyklopädie entstehen zu lassen, hat ein Unternehmenswiki keinerlei enzyklopädischen Anspruch, sondern soll Mitarbeiter und Führungskräfte dabei unterstützen Arbeitsabläufe und Prozesse, begleitende Gesetze und Vorschriften, Regeln und Dokumente zu sammeln und den Kollegen zur Verfügung zu stellen. Die Ansprüche an die aufgeführten Artikel sind daher viel mehr pragmatischer und zweckgebundener Natur als bei Wikipedia, denn sie sollen schnell und effizient im direkten Problemfall Unterstützung oder Lösung bieten [EBE 08]. Auf der Autoren-Ebene liegt ein wesentlicher Unterschied zwischen Wikipedia und Unternehmenswiki in der fehlenden Anonymität. Während registrierte Nutzer pseudonym anhand ihres Login-Namens zumindest netzbezogen identifiziert werden können, bleiben viele Nutzer vollständig anonym und sind lediglich über eine IP-Adresse identifizierbar, die nur über Umwegen eine personelle Zuordnung erlauben. In einem Unternehmenswiki können zumeist alle Nutzer identifiziert und so entanonymisiert werden. Da die Gruppe der möglichen Autoren – auf die Organisation beschränkt – überschaubar bleibt, kann selbst bei einer pseudonymen Autorenschaft von einer leichten Zuordnung ausgegangen werden. Die identifizierbare Autorenschaft hat weitgehende Konsequenzen, die am ehesten organisational zu erklären sind. Der Beitrag eines Vorgesetzten muss und wird anders gelesen und bewertet als der eines Kollegen oder eines Mitarbeiters. Diese widerstrebenden Prinzipien führen zwangsläufig zu Interessenskonflikten und unterschiedlichen Bewertungsmaßstäben, die schlussendlich sogar die Legitimation des Unternehmenswikis als Ganzes in Frage stellen können.

Gefördert wird dieser „Misstrauensvorschuss“ durch eine zumeist unfreiwillige, fremde und von oben angeordnete Teilnahme. Aus Sicht der teilnehmenden Experten muss ebenfalls berücksichtigt werden, dass deren fachlich korrekten Artikel durch kooperative Bearbeitun-

gen eher verwässert, vielleicht sogar gekapert werden könnten. Eine Gefahr, die im von Eifersüchteleien, Bereichsegoismen und Barrieren geprägten Umfeld von Organisationen, durchaus real ist. Aus Unternehmenssicht kann schon das Grundmodell einer offenen Bibliothek problematisch sein, denn dies verlangt den Mut zur Transparenz, den Mut zu einer offenen diskursorientierten Unternehmenskultur, den Mut zu offenen Strukturen. Die nur technische Einführung eines Unternehmenswikis als Instrument des Wissensmanagements führt nicht automatisch zu einer Verbesserung der Kooperation und einer Externalisierung des Wissens des Einzelnen. Ganz im Gegenteil bleiben die grundlegenden Barrieren erhalten, wenn bei der Einführung eines Wikis als Werkzeug des Wissensaustauschs, die Organisation nicht mitberücksichtigt wird [EBE 08; MÜL 09; BLA 08].

4.2 Skill-Mapping

Als Skill-Mapping kann die Verbindung zwischen einer Wissenslandkarte und Skill-Management verstanden werden. Wissenslandkarten sind so etwas wie grafische Verzeichnisse bestehender individueller und organisationaler Wissensbestände [EPP 01]. Im Vordergrund steht dabei weniger eine Strukturierung der Tiefenebenen als viel mehr eine Vermessung der unterschiedlichen Themenfelder. Wissenslandkarten dienen der Erfassung und Darstellung vorhandener Wissensressourcen. Sie erleichtern den Zugang und die Verortung des bestehenden Know-hows in Organisationen und schaffen eine Form zur Visualisierung. Wissenslandkarten erfüllen folgende Funktionen [HAU 02; PRO 06; NOH 00]: Sie dienen der transparenten Darstellung von Wissensbeständen in einer Organisation; Wissenslandkarten erleichtern die Suche und das Auffinden von Wissensträgern, um vorhandene Kompetenzen zu nutzen; Sie zeigen Lücken im Wissen eines Unternehmens auf, und sind somit Auslöser für die Generierung bzw. Beschaffung von Wissen; Wissenslandkarten erleichtern die Kategorisierung und Einordnung von neuem Wissen in bestehendes Wissen; Sie verbinden Aufgaben mit Wissensbeständen bzw. –trägern, indem der Wissensfluss identifiziert und dokumentiert wird; Wissenslandkarten können die notwendigen Stationen zur Wissensentwicklung benennen, dienen der Erfolgsmessung im Fortschritt von Wissensmanagement- und Lernprozessen. Wenn sich Skill-Management mit dem Wissen in den Köpfen der Mitarbeiter beschäftigt [DEI 99], so kann Skill Mapping in Analogie zur Wissenslandkarte als die Methode zur Visualisierung dieser Skills beschrieben werden.

Betrachtet man also das Thema Skill-Management aus der Sicht eines „Wissensmanagers", so wird der Mitarbeiter als eine Wissensressource angesehen. Das Wissen der Mitarbeiter soll ohne große Zeitverluste genau an den Stellen im Unternehmen eingesetzt werden, an denen es spezifisch benötigt wird. Der Unterschied an dieser Stelle ist, dass „Wissen in den Köpfen" der Mitarbeiter im Zentrum der Betrachtung steht, während Skill-Management ihre Fähigkeiten betrachtet.

Diese Bereiche überschneiden sich, geht es beispielsweise um fachliche Kompetenzen wie Programmiersprachen, Betriebssysteme oder ingenieurtechnisches Fachwissen, geht es aber um soziale Kompetenzen wie Teamfähigkeit, Pünktlichkeit oder kommunikative Kompetenzen können wir kaum mehr von Wissensmanagement sprechen. Skill-Management dient somit dem Wissensmanagement als Instrument, um den aktuellen Stand des im Unternehmen vorhandenen Wissens und das zukünftige Potenzial abzufragen.

Die breiten Einsatzmöglichkeiten eines Skill-Mappings in der Veranstaltungsbranche werden besonders deutlich, wenn wir uns die Wirksamkeit einer kompetenzorientierten Personaleinsatzplanung anschauen. Gerade der hohe Anteil an externen Kräften in der Branche entwickelt sich bei der Zusammenstellung von temporären und flexiblen Projektteams, die nicht nur fachlich den Anforderungen entsprechen müssen, sondern auch miteinander im Team arbeiten müssen, zu einer anspruchsvollen Aufgabe. Es müssen nicht nur die fachlichen, nachweisbaren und zum Teil zertifizierten oder anderweitig belegbaren Qualifikationen berücksichtigt werden, sondern in besonderem Maße hard und soft skills in die Planung einbezogen werden, die sich nur unzureichend als methodische Kompetenzen subsummieren lassen, und Erfahrungen mit einer spezifischen Anforderung, dem geplanten Veranstaltungsort, dem auftretenden Künstler oder der beteiligten Agentur genauso beinhalten wie die sozialen Fähigkeiten, im Gespräch mit Kunden, Auftraggeber und Besucher gleichermaßen souverän und kompetent auch in Stress-Situationen reagieren zu können. Skill-Mapping bildet also eine exzellente Basis, um die Kompetenzen der häufig nur temporär Beschäftigten in der Veranstaltungsbranche darzustellen, um anstehende Jobs im Sinne eines project staffing auf Basis von Anforderungsprofilen mit möglichen externen Kräften zu besetzen. Dazu aber ist es erforderlich, die Unternehmensgrenzen zu verlassen und Unternehmensnetzwerke mit Communities of Practice zu verlinken, und so für ein Matching die zahlreichen selbständigen Einzelunternehmer als Kompetenzträger stärker zu berücksichtigen. Dabei entstehen neue Hindernisse und Risiken, die bei einer Einführung über betriebsinterne Lösungen hinweg berücksichtigt

werden müssen: Die Abgrenzung der betriebsinternen und sicherheitsrelevanten Personaldaten mit den von außen zugänglichen, offenen Job Profilen und die Gefahr durch die verbesserten Möglichkeiten, Bedarf und Aufträge der Konkurrenz auszuspähen.

4.3 Wissensstrukturplan

Der Projektstrukturplan stellt eine vollständige, hierarchische Darstellung aller Aufgaben eines Projekts dar. Als gängiges Instrument zur Projektplanung und –steuerung wirkt der Projektstrukturplan als Zerlegung der Gesamtaufgabe in Teilaufgaben und Arbeitspaketen wie ein Modell des gesamten Vorhabens, in dem die zu erfüllenden Projektleistungen dargestellt werden. Diese Besonderheiten der frühzeitigen Strukturierung und Hierarchisierung von Aufgaben sowie der primär visuelle Zugang lassen den Strukturplan als ein geeignetes Instrument für die Verbindung zwischen den operativen Anforderungen, betrieblichem Wiki und Skill-Map erscheinen. Als Zweck der Zerlegung des Projekts führt Litke [LIT 07] Transparenz, Möglichkeit der Delegation oder des Outsourcings durch Herauslösen von Teilprojekten sowie die Analyse der Nahtstellen und der Zusammenhänge an. Der Projektstrukturplan ist die gemeinsame strukturelle Basis für die Ablauf-, Termin-, Kosten- und Ressourcenplanung [KES 04]. Der Projektstrukturplan wird auch als Plan der Pläne, [GEI 09] also als genereller Übersichtsplan bezeichnet. Diese gesamthafte Darstellung muss und soll ein relativ stabiles Projektmanagementinstrument sein, da sich terminliche, kosten- oder ressourcenmässige Veränderungen im Projektstrukturplan nicht niederschlagen, denn terminliche Zuordnungen werden im Projektstrukturplan genauso wenig vorgenommen, wie aufgabenübergreifende logische Verbindungen [CLE 06]. Ergänzend kann abgeleitet werden, dass der Projektstrukturplan ein zentrales Kommunikationsinstrument im Projektmanagement ist und so auch als Basis für das projektbezogene Ablagesystem dienen soll, aber auch darüber hinaus ein gemeinsames Projektverständnis der Projektteammitglieder schafft und einen wichtigen Beitrag zur Vereinheitlichung der Projektsprache und zur Herstellung von Verbindlichkeit leistet.

Als eines der Standardinstrumente des Projektmanagements hat der Projektstrukturplan, die Aufgabe den Informationsaustausch zwischen den Projektmitarbeitern intern und zu externen Gewerken zu sichern. Die Zerlegung der Gesamtaufgaben eines Projekts mittels des Projektstrukturplans soll im Projekt logische und chronologische Beziehungen von Aufgaben transparent machen [LIT 07], wie auch die Wissensidentifikation Transparenz über das vorhandene Wissen schaffen soll. Doch damit endet die Analogie nicht, denn der Projektstrukturplan verschafft durch die strukturierte Darstellung aller zum Erreichen der Projektziele erforderlichen Aufgaben auch eine Vorinformation zu den zur Erfüllung der Aufgaben notwendigen Kompetenzfeldern. Die Verknüpfung der einzelnen Arbeitspakete mit definierten Verantwortlichen erleichtert hier eine Zuordnung von Skills, die für diese Arbeitspakete von Bedeutung sind, mit den jeweiligen Arbeitspaketverantwortlichen. Hier kann eine aufgabenorientiertes Matching zwischen erforderlichen Skills auf der einen Seite und vorhandenen Ressourcen auf der anderen Seite sinnvoll sein.

Im objektorientierten Projektstrukturplan erfolgt die Einteilung nach den einzelnen Objekten des Projekts. Um eine Gliederung nach Kompetenzfeldern vornehmen zu können, müssen diese zunächst definiert werden. Diese Definition wird jedoch erst auf einer unteren Gliederungsebene interessant, da im oberen Bereich hier sich Tätigkeitsfelder mit Abteilungsgrenzen bzw. Gewerken wie Rigging oder klar definierten Berufsausbildungen wie Bühnenmeister oder Tonmeister und Arbeitsplatzbeschreibungen decken. Die Zuordnung von Kompetenzen bekommt also erst dort einen weiter gehenden Informationswert, wo spezielle Kompetenzen erforderlich sind. Bei einem funktionsorientierten Projektstrukturplan lassen sich Kernprozesse des Wissensmanagements direkt in das Projekt einbinden. Bei einem phasenorientierten Projektstrukturplan steht die zeitliche Reihenfolge im Vordergrund, hier wäre durch die dauerhafte Verfügbarkeit von explizitem Wissen eine Zuordnung von Aufgaben zu Kompetenzen sinnvoll.

Der Projektstukturplan bildet eine exzellente Grundlage notwendiger Kompetenzen und verborgenes Wissen strukturiert dazustellen und effizient weiter zu geben,

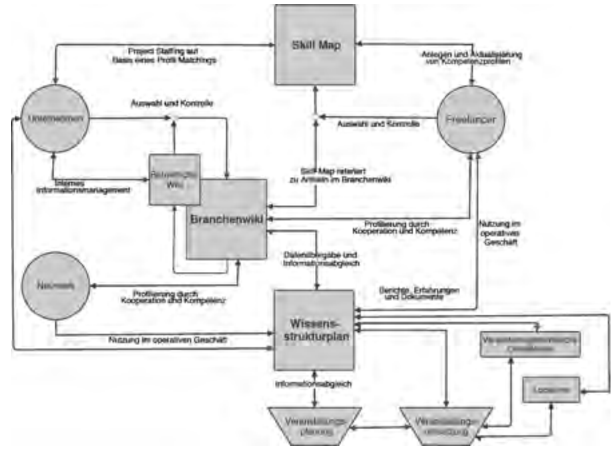


Abbildung 3: Einheitliches Modell für ein Wissensmanagement in der Veranstaltungsbranche (eigene Darstellung).

dazu ist jedoch eine Erweiterung der Gliederungsformen um einen wissensorientierten Projektstrukturplan, dem Wissensstrukturplan, notwendig.

5. Zusammenfassung

Wiki, Skill-Map und Wissensstrukturplan bilden die drei Stützen eines einheitlichen Modells für ein Wissensmanagement in der Veranstaltungsbranche (Siehe Abbildung 3). Im Wiki werden Informationen gesammelt und so transformiert, dass aus personengebundenem, prozeduralem Wissen, explizites Wissen wird. Ein Anreiz zur Nutzung und zur Erweiterung und Ergänzung des Wikis bildet die Skill-Map, die Kompetenzen und Fähigkeiten allgemein abbildet, aber auch die Anzahl und Bedeutung der Wiki Einträge, gemessen am Grad der Aufrufe, Kommentare und Bewertungen durch andere Nutzer. Gerade externe Kräfte können sich über die Skill-Map positionieren und ihre fachliche Kompetenz für neue Jobs ins Feld führen. Um die Suche nach Informationen und einen Neu-Eintrag möglichst zeiteffektiv zu gestalten, verbindet der Wissensstrukturplan die Eigenschaften eines Planungsinstruments mit dem Wiki als Wissensreservoir und Skill-Map als Zugang zu den Wissensakteuren.

Literatur

[RUM 01] Rump, J.: Intergeneratives Wissensmanagement, In: Trojaner, Nr. 1, Jg. 9, S. 24–27, 2001, Online im Internet http://www.kfaiss.de/pdf/t11_kpl.pdf. (10.06.2010).

[BAR 00] Barson, Richard J.; Foster, Gillian; Struck, Thomas; Ratchev, Svetan; Pawar, Kulwant; Weber, Frithjof; Wunram, Michael: Inter- and Intra-Organisational Barriers to Sharing Knowledge in the Extended Supply-Chain, 2000, Online im Internet: http://www.corma.net/download/e2000.doc. (Stand: 10.06.2010).

[BUL 98] Bullinger, H.-J.; Wörner, K.; Prieto, J.: Wissensmanagement: Modelle und Strategien für die Praxis, In: Bürgel, H. D. (Hrsg.): Wissensmanagement: Schritte zum intelligenten Unternehmen, S. 21–39, Berlin 1998.

[FÜN 02] Fünffinger, Martin et al: Management von Prozesswissen in projekthaften Prozessen. In: Abecker, Andreas; Hinkelmann, Knut; Maus, Heiko; Jürgen Müller, Heinz: Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement. Berlin, Heidelberg u.a., 2002.

[BÖH 01] Böhl, J.: Wissensmanagement in Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung, München, 2001.

[PRO 06] Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: Wissen managen. 5. Aufl, Wiesbaden, 2006.

[ROE 00] Roehl, Heiko; Romhardt, Kai: Wissensmanagement – Ein Dialog über Totes und Lebendiges. In: Organisationsentwicklung, H. 4, 19. Jg. 2000.

[DIS 00] Disterer, G.: Individuelle und soziale Barrieren beim Aufbau von Wissenssammlungen, In: Wirtschaftsinformatik, Nr. 6, Jg. 42, S. 539–546, 2000.

[KAI 07] Kaiser, S.; Paust, R.; Kampe, T.: Externe Mitarbeiter: Erfolgreiches Management externer Professionals, Freelancer und Dienstleister. Wien: 2007.

[SCH 03] Schreyögg, Georg; Geiger, Daniel: Kann die Wissensspirale Grundlage des Wissensmanagements sein?. Diskussionsbeiträge 20/03. Institut für Management, Berlin 2003.

[RAS 06] Rastetter, Daniela: Kompetenzmodelle und die Subjektivierung von Arbeit. In: Georg Schreyögg; Peter Conrad (Hrsg.): Management von Kompetenz. Managementforschung 16. Wiesbaden: 2006.

[EBE 08] Ebersbach, Anja; Krimmel, Knut; Warta, Alexander: Kenngrößen innerbetrieblicher Wiki-Arbeit. In: Alpar, Paul; Blaschke, Steffen (Hrsg.): Web 2.0. Eine empirische Bestandsaufnahme. Wiesbaden, 2008.

[MÜL 09] Müller, C.: Graphentheoretische Analyse der Evolution von Wiki-basierten Netzwerken für selbstorganisiertes Wissensmanagement. Berlin, 2009.

[BLA 08] Blaschke, S.: Wikis in Organisationen, In: P. Alpar, Paul; S. Blaschke (Hrsg.): Web 2.0.: Eine empirische Bestandsaufnahme. Wiesbaden, 2008

[EPP 01] Eppler, Martin J.: Making Knowledge Visible through Intranet Knowledge Maps: Concepts, Elements, Cases. 34th Hawaii International Conference on System Sciences, 2001.

[HAU 00] Haun, Matthias: Handbuch Wissensmanagement. Heidelberg, 2000.

[NOH 00] Nohr, Holger: Wissen und Wissensprozesse visualisieren. Arbeitspapiere Wissensmanagement. Nr. 1/2000. Fachhochschule Stuttgart, 2000.

[DEI 99] Deiters, W.; Lucas, R.; Weber, T.: Skill-Management: Ein Baustein für das Management flexibler Teams. Frauenhofer ISST Bericht 50/99. Dortmund, 1999.

[LIT 07] Litke, Hans-D.: Projektmanagement – Methoden, Techniken, Verhaltensweisen. Evolutio-

näres Projektmanagement. 5. erweiterte Auflage. München: 2007.

[KES 04] Kessler, Heinrich ; Winkelhofer, Georg: Projektmanagement. Leitfaden zur Steuerung und Führung von Projekten. 4. Aufl. Berlin u.a.: 2004.

[GEI 09] Geiger, Katharina I.; Romano, Roger u.a.: Projektmanagement Zertifizierung nach IPMA (3.0) – Ebenen D und C. Grundlagen und Kompetenzelement, Methoden und Techniken mit zahlreichen Beispielen. 2. Aufl. Zürich: 2009.

[CLE 06] Cleland, David I. / Gareis, Roland: Global Project Management Handbook. 2. Aufl. New York: McGraw Hill, 2006.

Kontakt

Prof. Dipl.-Ing. Siegfried Paul
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VIII Maschinenbau, Verfahrens- und Umwelttechnik
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 5414
E-Mail: spaul@beuth-hochschule.de

Kooperationspartner

Firma Klingler GmbH
Geschäftsführung Frank Klingler
Tel: (030) 379 413 0
E-Mail: info@klingler-gmbh.de

Optimierung des Waterbike-Kits für Fahrräder zur Gewässernutzung

Dipl.-Ing. (FH) Silvio Ciabattini; Prof. Dr.-Ing. Clemens Lehmann
Kooperationspartner: MountainWaterBikes GmbH

Das Projekt befasste sich mit Teilproblemen des WaterBike-Kit, einem innovativen Umrüst-Kit für Fahrräder zur Gewässernutzung. Aufgabe war es, den Kit so weiterzuentwickeln, dass sich die Punkte Sicherheit, Variabilität, Praktikabilität und Mobilität miteinander vereinbaren lassen. Hierfür waren Kosten- und Leistungsoptimierungen, Handlingverbesserungen und Gewichtsreduzierungen notwendig. Maßgeblich für die Weiterentwicklung waren Praxistests, deren Auswertung und die konstruktive Umsetzung der Ergebnisse

The project dealt with sub problems of the MountainWaterBike-Kit, an innovative bicycle-conversion-kit for water use. It is to advance the kit so far that the issues of safety, variability, practicality and mobility can be combined. For this purpose, cost- and performance optimizations, handling-improvment and weight reduction were necessary. Important for the further development were practice tests, evaluation of these tests and design implementation of the results.

1. Einleitung

Der Kooperationspartner MountainWaterBikes GmbH entwickelt moderne qualitativ hochwertige Sport- und Reiseausrüstungen. Das Projekt befasste sich mit Teilproblemen des WaterBike-Kit, einem innovativen Umrüst-Kit für Fahrräder zur Gewässernutzung.

Der Umrüst-Kit kann innerhalb kürzester Zeit an jedes Trekking- oder Mountainbike montiert werden. Bei Überlandfahrt wird der Waterbike-Kit einfach in einem Rucksack verstaut. Der am Rad montierte Kit hat die Funktion, unter Verwendung des fahrradeigenen Pedalantriebs, Fahrer inkl. Gepäck und Sportausrüstung (Fahrrad inkl. Adapter) effizient und sicher über das Wasser zu befördern. So kann man auf dem Wasser Teilstrecken schnell und sicher zurücklegen, ohne zum Ausgangspunkt zurückkehren zu müssen. [Can 08]

2. Forschungsgegenstand und Ziele

Der Waterbike-Kit sollte unter den Gesichtspunkten Sicherheit, Variabilität, Praktikabilität und Mobilität weiterentwickelt werden. Hierfür sind Kosten- und Leistungsoptimierungen notwendig. Darüber hinaus ging es um die Verbesserung des Handlings sowie um Gewichtsreduzierungen, ohne die Stabilität und Sicherheit des Produktes zu beeinträchtigen.

Der MountainWaterBike-Kit (Abb. 1) besteht aus:

- zwei mit Luft gefüllte Pontons, die für Auftrieb sorgen,
- einer Antriebseinheit, die das Hinterrad ersetzt (ein über die fahrradeigene Kette angetriebener Schraubenantrieb),
- einem an das Vorderrad geklemmtes Ruder, das als Lenkung dient.



Abbildung 1: MountainWaterBike-Kit

Zu Beginn des Projekts existierte bereits ein erster Prototyp, bestehend aus zwei aufblasbaren Schwimmkörpern, einem klappbaren Haltegestänge, einer Antriebseinheit mit Schraubenantrieb und einem Ruder. Die zwei Klappstellungen (Abb. 2 und 3) des Haltegestänges dienen dem Starten und Anlanden trockenen Fußes vom Ufer aus, sowie der idealen Wassertiefe der Antriebsschraube bei Fahrbetrieb.

Die Forschungsziele des Projektes wurden anhand bestehender Probleme des Prototyps definiert.

Hauptbestandteile waren Kosten- und Leistungsoptimierungen am Schiffsschraubenantrieb, Gewichts- und Materialoptimierungen am gesamten Kit, sowie Handlingoptimierungen an den Schnellverbindungselementen.

Maßgeblich für die Weiterentwicklung des Waterbike-Kits waren Praxistests, deren Auswertung und die konstruktive Umsetzung der Ergebnisse. Die 3D-Modellierung aller Elemente erfolgte mit der CAD-Software SolidWorks. Gewichtsoptimierte Bauteile wurden mit COSMOS auf ihre Stabilität geprüft. Bestandteil des Aufgabengebietes war außerdem die Produktionsplanung und Fertigungskoordination um eine Kleinserie wirtschaftlich herzustellen. Zur Vorbereitung



Abbildung 2: Start und Anlanden



Abbildung 3: Fahrbetrieb

der Serienproduktion sollten geeignete Zulieferbetriebe für den Kooperationspartner ausgewählt werden.

Das Forschungsvorhaben wurde in enger Kooperation mit der MountainWaterBikes GmbH durchgeführt. Dort erfolgten die Montage von Prototypen und Versuchsaufbauten sowie die Durchführung von Praxistests. Die Produktion der dafür benötigten Bauteile erforderte einen direkten Kontakt mit den potenziellen Zulieferbetrieben der MountainWaterBikes GmbH.

3. Ergebnisse

Das Gesamtergebnis des Forschungsprojekts ergibt sich aus den Lösungen für verschiedene Teilprobleme am Mountainwaterbike-Kit. Es galt einerseits die Leistung der Antriebseinheit zu verbessern:

- Vergleich Ketten-, Riemen-Antrieb
- Optimierung der Riemenspannvorrichtung
- Gesamtübersetzung optimieren

sowie diverse Optimierungen am gesamten Kit vorzunehmen:

- Entwicklung eines Anschlag-Mechanismus
- Gewichts- und Materialoptimierungen
- Salzwasserbeständigkeit verbessern
- Handlingoptimierungen

Weitere Bestandteile des Projekts waren die technische Dokumentation und die Fertigungskoordination.

3.1 Optimierungen des Antriebes

Um die Leistungsfähigkeit des Antriebes des MountainWaterBike-Kits zu erhöhen wurden folgende Vergleiche und Optimierungen durchgeführt:

3.1.1 Vergleich von Ketten- und Riemenantrieb

Für einen Vergleich von Ketten- und Riemenantrieb im Waterbike-Kit erfolgte der Umbau des Prototyps auf Nutzung von Ketten sowie Zahnriemen. Anhand von Praxistest wurden die jeweiligen Vor- und Nachteile der beiden Antriebsarten für das Mountainwaterbike ermittelt. Die Entscheidung fiel auf die Verwendung eines HTD-Zahnriemens. Dieser konnte im Gegensatz zum Kettenantrieb problemlos im Unterwasserbetrieb verwendet werden. Die Antriebskette rostete selbst bei abgedichtetem Antriebsgehäuse durch den Kontakt mit Spritzwasser. Bei einem Riementrieb muss das Antriebsgehäuse nicht abgedichtet werden. Das eindringende Wasser dient als Schmiermittelersatz für die verbauten Kegelzahnräder und macht den Einsatz des Adapters auch in Naturschutzgebieten möglich. Der Verzicht auf eine komplette Abdichtung des Gehäuses senkt noch dazu die Produktionskosten.

3.1.2 Optimierung der Riemenspannvorrichtung

Durch die Verwendung eines Riementriebes wurde die alte Spannvorrichtung (Abb. 4), die für einen Kettentrieb ausgelegt war, unter Extrembelastung außer Kraft gesetzt. Bei einem effizienten runden Tritt eines Extremsportlers reichte die Riemenspannung nicht mehr aus. Aufgrund dessen galt es, eine am Serienprodukt leicht nachrüstbare, zusätzliche

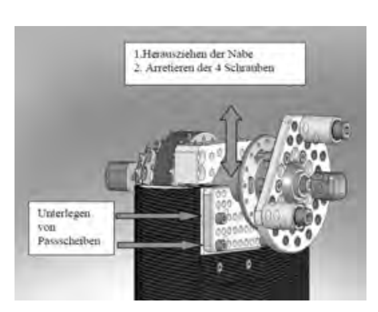


Abbildung 4: Alter Spannmechanismus

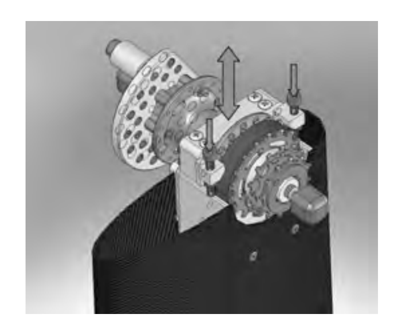


Abbildung 5: Neuer Spannmechanismus

Riemenspannvorrichtung (Abb. 5) für die Antriebseinheit zu entwickeln. Diese unterstütze die alten Spannelemente durch Ausübung von Druck auf das Antriebsgehäuse und erforderte nur minimale Veränderungen an der Konstruktion. Es wurden zwei neue Elemente mit der Nabenhalterung verschraubt, die als Aufnahmen für zwei Spannschrauben dienten. Diese konnten durch zwei Muttern gekontert werden. Lediglich die Nabe des Antriebes, sowie die obere Nabenhalterung mussten nachbearbeitet werden.

3.1.3 Gesamtübersetzung optimieren

Durch einige Praxistests stellte sich heraus, dass das Gesamtübersetzungsverhältnis (Abb. 6) nicht optimal gewählt wurde. Für trainierte Fahrer war die Trittkraft im schwersten Gang zu gering, für Gelegenheitsfahrer im leichtesten zu schwer. Die Kettenblätter am Tretlager des Fahrrades sind unveränderbar und vom Hersteller des Rades abhängig. Die drei Ritzel die am Antrieb montiert werden konnten, waren hingegen von 11–18 Zähnen frei wählbar. Das Übersetzungsverhältnis des Riementriebes war aufgrund von Platzmangel im Antriebsgehäuse nur leicht veränderbar. Ein im Antrieb verbautes Kegelzahnradpaar hatte ebenfalls eine nicht veränderbare Übersetzung. Durch Wechsel der Ritzel am Antrieb, sowie der Riemenübersetzung konnte eine neue Gesamtübersetzung realisiert werden. Durch die neue Auslegung wurde eine etwas schwerere Übersetzung für trainierte Fahrer erreicht, sowie eine sehr leichte Übersetzung für Gelegenheitsfahrer. Der Fahrer kann alle drei Positionen auch individuell belegen (Ritzel mit weniger als 11 Zähnen sind nicht erhältlich). Dies ermöglicht der verbaute Shimano-Freilauf und ist mit handelsüblichem Fahrradwerkzeug möglich.



Abbildung 6: Gesamtübersetzung

3.2 Weitere Optimierungen am Kit

3.2.1 Entwicklung eines Anschlag-Mechanismus

Die Entwicklung eines neuartigen Anschlag-Mechanismus für die beiden Klappstellungen war erforderlich, um die am Fahrrad zu montierenden Elemente zu minimieren und somit die Kompatibilität zu unterschiedlichen Ausfallenden/Bremssystemen/Schaltungen zu erhöhen. Der neue Mechanismus sollte ebenfalls die Stabilität des Waterbike-Kits erhöhen und das Gewicht des Adapters reduzieren.
Die Fixierung der Betriebspositionen erfolgte bei der alten Konstruktion (Abb. 7) über ein Drahtseil, dass am Fahrradrahmen befestigt werden musste. Im Gegensatz zum alten



Abbildung 7: alter Anschlagmechanismus

Mechanismus erfordert der neue Anschlag keine Montage von Befestigungsschellen am Rahmen. Er besteht aus einem variabel an der Antriebseinheit montierbaren Aufnahmering (Abb. 8). An diesem können zwei Schrauben mit Distanzhülsen montiert werden, die bei Erreichen der Endpositionen (Abb. 9) am Fahrradrahmen anschlagen.

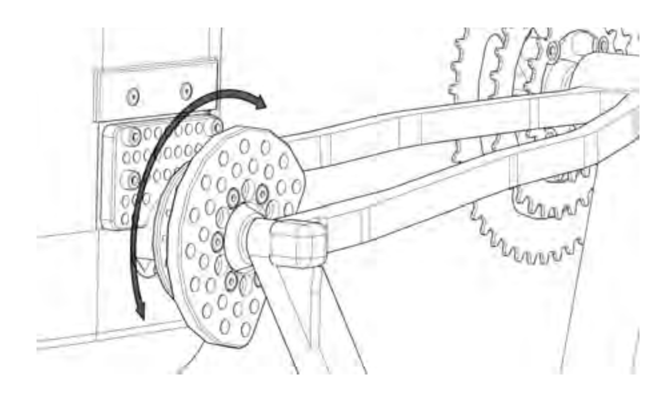


Abbildung 8: variabler Aufnahmering

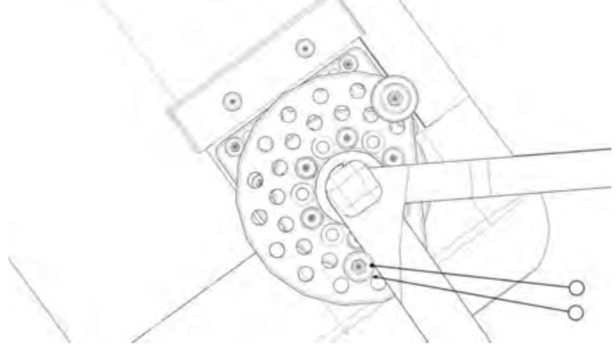


Abbildung 9: Endposition 1

3.2.2 Gewichts- und Materialoptimierungen

Es wurden Gewichtsoptimierungen anhand von Modellierungen und Berechnungen mit SolidWorks und COSMOS vorgenommen (von über 20 kg auf 16 kg). Dies erfolgte anhand von Materialentfernung an nicht tragenden Bauteilen. Es

wurden Wandstärken verringert und Edelstahlelemente durch Aluminiumbauteile ersetzt. Leider war es Aufgrund von bestimmten Biegeradien nicht möglich, das Gewicht des äußerst schweren Edelstahl-Haltegestänges (Abb. 10) zu reduzieren.

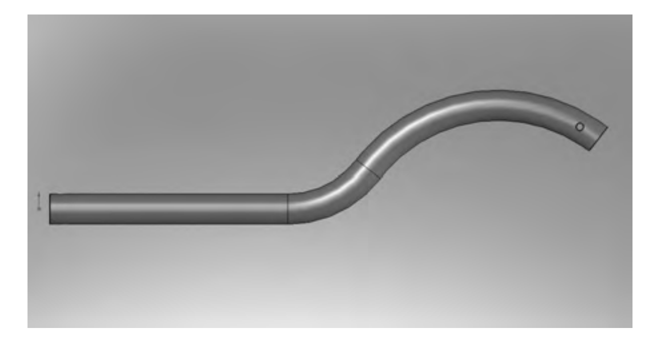


Abbildung 10: gebogenes Edelstahlrohr des Haltegestänges

3.2.3 Oberflächenbehandlungen

Um die Salzwasserbeständigkeit des Waterbike-Kits zu erhöhen, wurden alle Aluminiumbauteile mit einer 40 µm Harteloxalschicht mit PTFE-Beschichtung versehen. Dies ist eine im Schiffbau übliche Oberflächenbehandlung. Hierzu mussten sämtliche Passungen der Aluminiumbauteile angepasst werden. Des Weiteren wurden Bauteile aus Federstahl verkupfert.

3.2.4 Handlingoptimierungen

Um dem Benutzer die Montage und Demontage zu vereinfachen, wurden diverse Verbesserungen an den Verbindungselementen vorgenommen. Dies ermöglichte selbst unerfahrenen Personen eine Montage des MountainWater-Bike-Kits am Einsatzort unter 10 Minuten. Hierzu wurden sämtliche vom Benutzer zu lösende Schraubenverbindungen durch einfache Schnellverbindungselemente ersetzt. An Stelle von Rändelschrauben kamen unter anderem Kugelsperrbolzen (Abb. 11) am Vordergestänge oder Lederriemen (Abb. 12) am Ruder zum Einsatz. Eine detaillierte Montageanleitung wurde ebenfalls erstellt. Hierzu wurde das Programm 3DVia der Firma SolidLine verwendet.

3.3 Technische Dokumentation und Fertigungskoordination

Für die Fertigung der Prototypen, der Versuchsaufbauten und einer ersten Kleinserie musste eine umfangreiche technische Dokumentation erstellt werden. Hierzu zählten z.B. Stücklisten, Montageanleitungen für die Produktion, technische Zeichnungen der Baugruppen und der einzelnen Bauteile. Bei der Anfertigung der Bauteilzeichnungen mussten die jeweiligen Oberflächenbehandlungen berücksichtigt werden (z.B. Hartcoat).

Die Erlangung eines CE-Kennzeichens [EPR 94] erforderte die Erweiterung der technischen Dokumentation, um



Abbildung 11: Kugelsperrbolzen



Abbildung 12: Lederriemen

- eine allgemeine Beschreibung des Produkttyps,
- Beschreibungen und Erläuterungen die zum Verständnis der Zeichnungen und Pläne, sowie der Funktionsweise des Produkts erforderlich sind,
- Berechnungsprotokolle,
- eine Liste der ganz oder teilweise angewandten Normen,
- und Prüfberichte oder gleichwertige Berechnungen

erweitert werden.

Des Weiteren wurden entsprechende Zulieferbetriebe für die einzelnen Herstellungsverfahren gesucht. Diese erstreckten sich von normalen Dreh- und Fräsbetrieben über Rohrbiegereien, Oberflächenveredelungs-Betrieben bis hin zu Kunststoff und Carbonfaser-Herstellern. Die erstellten Montageanleitungen dienen der Endmontage des Waterbike-Kits, die bei der Mountainwaterbikes GmbH erfolgt.

4. Messebesuche

Im Rahmen des Projektes erfolgten diverse Präsentationen auf Fachmessen im Boots- und Fahrrad-Bereich. Dazu zählten z. B. die Boot und Fun Berlin, Fahrrad.Markt.Zukunft, Globeboot und die Bike & Outdoor Dresden. Auf diesen

Messen konnten Meinungen, Anregungen und Kritik von potenziellen Kunden eingeholt werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse des Projektes konnten weitestgehend ohne Änderungen des Grundkonzeptes in das Serienprodukt (Abb. 13) übernommen werden. Für die neu entwickelten Elemente mussten keine oder nur geringe Modifikationen des bestehenden Produktes vorgenommen werden. So konnte das Serienprodukt ohne großen Kostenaufwand effizienter, leichter und billiger in der Produktion werden.
Mit einer zwischen 8:1 und 10:1 wählbaren Gesamtübersetzung des Antriebes ist der Waterbike-Kit sowohl für Leistungssportler als auch für Gelegenheitsfahrer geeignet. Das Handling für den Benutzer wurde durch neue Verbindungselemente und durch eine Gewichtsersparnis von über vier Kilogramm stark vereinfacht.



Abbildung 13: Serienprodukt

Literatur

[Can 08] Canfora, Raffaele.: Businessplan zum Gründungsprojekt MountainWaterBike GmbH; Berlin, 2008.

[EPR 94] Europäischen Parlament und Rat: Richtlinie 94/25/EG Sportboote, 1994.

[BBS 08] Barzel, P.; Bollschweiler, M.; Smolik, C.: Die neue Fahrradtechnik Material, Konstruktion, Fertigung; BVA Bielefeld; 2008.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Clemens Lehmann
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich VIII Maschinenbau, Verfahrens- und Umwelttechnik
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Tel: (030) 4504 - 2729
E-Mail: lehmann@beuth-hochschule.de

Dipl.-Ing (FH) Silvio Ciabattini
E-Mail: ciabattini@beuth-hochschule.de

Kooperationspartner

MountainWaterBikes GmbH
Geschäftsführung Dipl.-Wi.-Ing. Raffaele Canfora
Tel: (030) 40108450
E-Mail: info@mountainwaterbikes.de

Arbeitsgebiete der Forschungsassistent/innen als Übersicht

Forschungsassistent/in	Forschungsgebiet	Betreuer/in
	Fachbereich I Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften	
Dipl.-Ing. Ekaterina Kobeleva	**Innovative Einkaufsprozesse für KMUs**	Prof. Dr. Klaus Helbig
	Fachbereich II Mathematik - Physik - Chemie	
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Hilal Bilek	**Entwicklung Transdermaler Drug Delivery Systeme**	Prof. Dr. rer. nat. Mont Kumpugdee Vollrath
	Fachbereich III Bauingenieur- und Geoinformationswesen	
M.Sc. Nadja Lemcke	**Entwicklung eines flexiblen Kartiermoduls mittels FE und GIS**	Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernd Meissner Prof. Dr. rer. nat. Ursula Ripke
Bennet Schulte M. Sc., Dipl.-Ing. (FH)	**Der Berliner Mauerstreifen im Wandel der Zeit**	Prof. Dr. Jürgen Schweikart
Dipl.-Ing. (FH) Uwe Hofmann	**Softwareentwicklung für Positionsbestimmung mit Satelliten**	Prof. Dr. Wilfried Korth
	Fachbereich IV Architektur und Gebäudetechnik	
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Tian	**Innovative Methoden und Verfahren für den Bau und Betrieb von Tier- und Freizeitanlagen**	Prof. Dipl.-Ing. Katja Biek
	Fachbereich VI Informatik und Medien	
Dipl.-Ing. (FH) Dirk Naparty	**Biosensorik für eine Kunsthand**	Prof. Dr. Alfred Rozek
Dipl.-Ing. (FH) Nenad Stokic	**Entwicklung eines bistabilen Displays**	Prof. Dr. Joachim Rauchfuß
	Fachbereich VIII Maschinenbau, Verfahrens- und Umwelttechnik	
Thomas Sakschewski	**Wissensbasierte Projektplanung mit dem Wissensstrukturplan**	Prof. Dipl.-Ing. Siegfried Paul
Dipl.-Ing.(FH) Silvio Ciabattini	**Optimierung des Waterbike-Kits für Fahrräder zur Gewässernutzung**	Prof. Dr.-Ing. Clemens Lehmann



Gefördert durch:



Berlin
Senatsverwaltung für
Wirtschaft, Technologie und Frauen



ISBN 978-3-8325-3012-9